

LUIS DANIEL WOISKI GUILHERME

**PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS EM
PLANTAS AUTOMATIZADAS DE SERRARIA, VISANDO A
MAXIMIZAÇÃO DE RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE**

**Trabalho Final do Curso de
Especialização em Administração
Industrial, Centro de Pesquisa e
Pós-Graduação em Administração,
Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador: Prof. Luis Henrique
Rodrigues, Ph.D.**

**CURITIBA
2003**

SUMÁRIO

SUMÁRIO	ii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	v
LISTA DE ANEXOS	vii
LISTA DE SIGLAS	viii
RESUMO	ix
1 INTRODUÇÃO	10
1.1 JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO	10
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	11
1.2.1 Objetivo Principal.....	11
1.2.2 Objetivos Específicos	12
1.3 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	12
1.4 MÉTODO DE TRABALHO	13
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 REVISÃO TEÓRICO-EMPÍRICA	15
2.1 O RECURSO FLORESTAL.....	15
2.2 QUALIDADE DA MADEIRA	16
2.3 PROCESSAMENTO INDUSTRIAL	17
2.4 TÉCNICAS E OPERAÇÕES DE DESDOBRO	18
2.5 PESQUISA OPERACIONAL	23
2.5.1 Características Fundamentais da Pesquisa Operacional.....	24
2.5.2 Impacto da Pesquisa Operacional.....	24
2.5.3 Etapas da Pesquisa Operacional	25
2.5.4 Problemas de Programação Matemática (PM) como Problemas de Otimização	29
2.5.5 Problemas de Programação Linear como Classe Particular dos Problemas de Programação Matemática	30
2.5.6 Exemplo de Aplicação.....	30
2.5.7 Modelo Geral de Programação Linear.....	34
2.5.8 Exemplos Clássicos de Programação Linear	36
2.5.9 Método <i>Simplex</i>	36

2.6	UTILIZAÇÃO DE PLANILHAS ELETRÔNICAS COMO INTERFACE PARA MODELAGEM	37
3	A EMPRESA	40
3.1	UMA VISÃO MUNDIAL	40
3.2	A EMPRESA NO BRASIL	41
3.3	MERCADO EXTERNO	42
3.4	MERCADO INTERNO	43
4	PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO	44
4.1	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	44
4.1.1	Colheita Florestal	44
4.1.2	Serraria	47
4.1.3	Secagem	53
4.1.4	Remanufatura	53
4.2	DEFINIÇÃO DAS NECESSIDADES	55
4.3	SOLUÇÃO PROPOSTA	57
4.3.1	Análise da Distribuição Diamétrica das Toras	58
4.3.2	Análise do Pedido de <i>Rips</i>	62
4.3.3	Análise dos Esquemas de Corte	62
4.3.4	Validação Manual do Planejamento	65
4.3.5	Solução Automatizada	65
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	68
5.1	AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE OBTIDOS	68
5.2	VANTAGENS OBSERVADAS NO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO	71
5.2.1	Facilidade de entendimento	71
5.2.2	Alta conectividade	72
5.2.3	Facilidade de customização	72
5.3	DESVANTAGENS OBSERVADAS NO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO	73
5.3.1	Dificuldade de alteração da lógica e das dimensões do modelo	73
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	74
6.1	CONCLUSÕES DO ESTUDO	74
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	75
	GLOSSÁRIO	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	DADOS RELATIVOS AO EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE PL.....	31
TABELA 2 -	TERMINOLOGIA DA PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	34
TABELA 3 -	QUADRO REPRESENTATIVO DO EXEMPLO.....	34
TABELA 4 -	QUADRO GERAL PARA PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	35
TABELA 5 -	DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE PROCESSO DE SERRARIA.....	49
TABELA 6 -	DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PREVISTA E REAL PARA JANEIRO DE 2002.....	58
TABELA 7 -	DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PREVISTA E REAL PARA DE FEVEREIRO DE 2002	59
TABELA 8 -	DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PREVISTA E REAL PARA DE MARÇO DE 2002	59
TABELA 9 -	VALORES DE CORRELAÇÃO OBTIDOS PARA AS AMOSTRAS ANALISADAS	62

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 –	FLUXOGRAMA DOS PRINCIPAIS PASSOS DA PESQUISA OPERACIONAL PARA A SOLUÇÃO DE UM PROBLEMA.....	25
FIGURA 2 –	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO CONJUNTO DE ADMISSIBILIDADE DO EXEMPLO	33
FIGURA 3 –	SOLUÇÃO GRÁFICA ÓTIMA DO EXEMPLO	33
FIGURA 4 –	FLUXO DO MACRO-PROCESSO PRODUTIVO DA TERRANOVA BRASIL.....	45
FIGURA 5 –	FLUXOGRAMA: COLHEITA FLORESTAL.....	45
FIGURA 6 –	EXEMPLO DE GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA.....	45
FIGURA 7 –	EXEMPLO DE TORA.....	46
FIGURA 8 –	FLUXOGRAMA DE PROCESSO DA SERRARIA DA TERRANOVA BRASIL.....	48
FIGURA 9 –	CORTE TRANSVERSAL EM UMA ÁRVORE.....	50
FIGURA 10 –	CORTES TANGENCIAIS E RADIAIS NA TORA	50
FIGURA 11 –	EXEMPLO DE ESQUEMA DE CORTE	51
FIGURA 12 –	FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE REMANUFATURA	53
FIGURA 13 –	PROCESSO DE <i>FINGER-JOINT</i>	54
FIGURA 14 –	EXEMPLOS DE MOLDURAS.....	54
FIGURA 15 –	PROCESSO DE VENDA DA TERRANOVA BRASIL	55
FIGURA 16 –	GRÁFICO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA JANEIRO DE 2002.....	60
FIGURA 17 –	GRÁFICO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA FEVEREIRO DE 2002.....	60
FIGURA 18 –	GRÁFICO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA MARÇO DE 2002.....	61
FIGURA 19 –	JANELA DO <i>MICROSOFT EXCEL SOLVER</i>	66
FIGURA 20 –	JANELA DE OPÇÕES DO <i>MICROSOFT EXCEL SOLVER</i>	67
FIGURA 21 –	VOLUME DE PRODUÇÃO EM m ³ . PERÍODO JANEIRO DE 2002 A MARÇO DE 2003	69

FIGURA 22 –	PRODUÇÃO DIÁRIA EM m ³ . PERÍODO JANEIRO DE 2002 A	
	MARÇO DE 2003	69
FIGURA 23 –	RENDIMENTO DA SERRARIA. PERÍODO JANEIRO DE 2002 A	
	MARÇO DE 2003	70
FIGURA 24 –	DIÂMETRO MÉDIO DE PRODUÇÃO EM CENTÍMETROS.	
	PERÍODO JANEIRO DE 2002 A MARÇO DE 2003	71

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 -	FLUXO DA TORA PELO PROCESSO DE SERRARIA.....	80
ANEXO 2 -	PROCESSO DE OFERTA E PRODUÇÃO DE <i>RIPS</i>	82
ANEXO 3 -	EXEMPLO DE RELATÓRIO DE INVENTÁRIO FLORESTAL	84
ANEXO 4 -	EXEMPLO DE CÁLCULO DE RENDIMENTO TEÓRICO DE UM DIAGRAMA DE CORTE	86
ANEXO 5 -	EXEMPLO DE PLANILHA DE OTIMIZAÇÃO DE PRODUÇÃO	88
ANEXO 6 -	EXEMPLO DE PLANILHA DE ACOMPANHAMENTO DE PRODUÇÃO	90
ANEXO 7 -	MATRIZ DE HABILIDADES DE OPERAÇÃO.....	92

LISTA DE SIGLAS

EGP	- <i>Edge Glued Panels</i>
JAS	- <i>Japanese Agricultural Standards</i>
LVL	- <i>Laminated Veneer Lumber</i>
MDF	- <i>Médium Density Fiberboard</i>
PL	- Programação Linear
PM	- Programação Matemática
PO	- Pesquisa Operacional
PPL	- Problema de Programação Linear
SBS	- Sociedade Brasileira de Silvicultura
SCOOP	- <i>Scientific Computation of Optimum Programs</i>

RESUMO

A indústria da madeira apresenta características próprias que a diferem conceitualmente de outros ramos de manufatura. Em particular quando se fala em serrarias, tem-se como premissa o máximo aproveitamento dos recursos de matéria-prima, uma vez que a renovação destes não pode ser contabilizada em outra unidade temporal que não sejam décadas. Assim sendo, o rendimento desta matéria-prima é de suma importância para a rentabilidade do negócio, independentemente de qual seja o produto final. Este estudo de caso apresenta o trabalho realizado na planta de serraria automatizada da empresa Terranova Brasil Ltda., situada na cidade de Rio Negrinho, no planalto norte de Santa Catarina, onde se objetivou desenvolver métodos e processos que resultassem na elevação do rendimento e produtividade, quebrando-se os paradigmas comumente relacionados a essa área, como o desperdício de recursos e a ineficiência de mão-de-obra. Dois focos principais foram tomados como base: o planejamento da produção através da análise da matéria-prima disponibilizada pelas florestas, e a especificação de esquemas de corte correspondentes e de ações gerenciais para diminuir os tempos improdutivos. A otimização destes itens de baseou em técnicas de Pesquisa Operacional, com a utilização de planilhas eletrônicas para resolver os problemas de Programação Linear. As ações tomadas durante este trabalho resultaram no pleno atendimento destas metas, obtendo-se um rendimento médio de 58% no aproveitamento das toras, tornando essa planta de serraria em particular uma referência em termos produtivos na América do Sul.

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização, a madeira tem sido um material fundamental à existência do homem, constituindo-se em um dos principais componentes na habitação e nas construções em geral, no mobiliário, nas embalagens, e em uma série de outros usos. Como matéria-prima em processos industriais de produção, a madeira dá origem aos mais diferentes tipos de painéis, papéis e cartões, fibras e polímeros, e a vários insumos para a indústria química.

Através de processamento mais sofisticado, a madeira contribui com produtos variados, de cartões ativados a macro-moléculas, de micro-partículas para usos especiais até vigas e chapas compostas com materiais de distinta natureza, além de ser, e ter sido sempre, uma matéria-prima renovável para a geração de energia.

A administração e o uso racional do recurso florestal depende, em grande parte, de sua utilidade para o homem e, por conseguinte, do valor que lhe é atribuído pela sociedade. Esse valor cresce em proporção direta ao acervo de conhecimento sobre a madeira, suas características, comportamento, vantagens e limitações de seu uso e, finalmente, sua disponibilidade.

O uso racional deste material e dos produtos dele derivados é resultado, portanto, dos esforços, recursos e pesquisas de universidades e instituições, somados ao processamento desenvolvido e aprimorado pela indústria, em resposta à demanda dos setores de consumo, atendendo, porém, à preocupação constante da sociedade, com a garantia de que as próximas gerações também poderão beneficiar-se deste recurso.

1.1 JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO

De acordo com os princípios do desenvolvimento sustentável, não são mais admissíveis idéias preconcebidas de que a indústria madeireira é uma fonte inesgotável de desperdício, e sim de que é possível aproveitar ao máximo os recursos naturais disponíveis. Nessas premissas baseia-se este estudo.

Este estudo iniciou-se em julho de 2001; contudo, só foram tomadas ações concretas e efetivas em meados de 2002, devido às necessidades cada vez mais

exigentes do mercado consumidor, tanto em termos de qualidade do produto, como em volumes e tempo de resposta.

Tomou-se como base a idéia central de que o melhor aproveitamento das toras oriundas das florestas de reflorestamento resultaria em uma maior produtividade e, conseqüentemente, em níveis de custo mais competitivos para o produto final.

Para tanto, procurou-se desenvolver um mecanismo que proporcionasse um planejamento antecipado de como os recursos de matéria-prima pudessem ser melhor aproveitados. Paralelo a isto, foram tomadas ações para aumentar os índices de produtividade, conforme será descrito adiante.

O correto planejamento das capacidades foi baseado em modelos de Programação Linear. No ramo madeireiro não existem soluções prontas que atendam as necessidades descritas, uma vez que o roteiro de fabricação não obedece a uma receita padrão, ou seja, uma mesma matéria-prima pode gerar diversos tipos de produtos, levando em conta as diversas condições presentes no processo. Além disso, uma restrição imposta a esse estudo foi a utilização de ferramentas já existentes no parque fabril, tanto ao nível de maquinário com em termos de *softwares* aplicativos. Optou-se, portanto, pelo desenvolvimento de um sistema baseado no *software Microsoft Excel*, que disponibiliza ferramentas de análise computacional simples, mas suficientes, para os objetivos traçados.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

São apresentados a seguir os objetivos principal e específicos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho consiste em desenvolver um procedimento de planejamento e otimização dos recursos disponíveis nas modernas plantas de serraria hoje existentes no Brasil, de modo a diminuir o consumo de matéria-prima e maximizar a produção.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em:

- Apresentar as características particulares da indústria de processamento de madeira;
- Estruturar um procedimento de planejamento e otimização de produção utilizando-se de recursos de Pesquisa Operacional, mais especificamente de Programação Linear, com base nas previsões de entrega de matéria-prima e nas necessidades de demanda;
- Avaliar as características da interface utilizada para execução da otimização, neste caso planilhas eletrônicas, identificando as suas vantagens e desvantagens. A elaboração desse estudo permitiu avaliar as características do otimizador baseado em planilhas tanto no que se refere aos aspectos de modelagem e desenvolvimento do sistema, quanto também aos aspectos relativos a sua implementação na empresa e utilização pelos usuários.

1.3 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

As principais delimitações do presente trabalho são:

- O estudo apresentado não pretende ser uma solução definitiva para o problema de planejamento da indústria da madeira, uma vez que cada empresa possui características próprias e diferentes produtos finais. Acredita-se que o mais importante é entender a lógica utilizada, de modo a ser possível adaptá-la a cada situação;
- Uma segunda delimitação é quanto à abordagem dada ao método utilizado pelo *software* escolhido neste tudo para se obter os resultados, uma vez que não é esse o escopo deste trabalho. Recomenda-se que, caso haja necessidade de se aprofundar neste método, seja consultada bibliografia específica;
- Outras ações gerenciais tomadas durante este trabalho contribuíram efetivamente para os bons resultados obtidos até o momento, como a utilização de conceitos de *endomarketing* e engenharia de produção. Por

não se tratarem do objeto principal deste estudo, estas serão citadas quando relevantes e de forma sucinta;

- A avaliação se baseou em critérios subjetivos a partir da percepção dos envolvidos na criação do modelo; também foram consideradas experiências anteriores no desenvolvimento de modelos similares, onde se utilizou diferentes interfaces para modelagem.

1.4 MÉTODO DE TRABALHO

Visando alcançar os objetivos descritos acima, o método de trabalho utilizado incluiu as seguintes etapas:

1. Revisão bibliográfica: com a finalidade de fundamentar teoricamente o trabalho, foram levantadas informações referentes ao processamento de madeira, à pesquisa operacional e aos métodos computacionais possíveis, com a utilização de publicações técnicas das respectivas áreas;
2. Escolha da empresa objeto do estudo: foi escolhida uma empresa do ramo de madeira com características favoráveis ao desenvolvimento do estudo; esta indústria está localizada no planalto norte catarinense, região predominantemente madeireira;
3. Definição dos controles necessários das variáveis consideradas: foi feito o levantamento estatístico dos dados a serem controlados e avaliados com a utilização do método, assim como daqueles necessários para a implementação do modelo;
4. Implementação do método desenvolvido: implementação no chão de fábrica das propostas feitas;
5. Correções e otimização do método: através da análise dos resultados obtidos na prática, foram efetuadas correções no método proposto de maneira a aperfeiçoá-lo;
6. Formalização da pesquisa: o conjunto deste estudo foi organizado e escrito, formalizando o presente trabalho.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado em seis capítulos, cada um deles descrito a seguir:

- **Introdução:** procura-se fornecer as informações relevantes para a compreensão do presente trabalho; são apresentados os objetivos e as justificativas para a realização do mesmo, assim como as delimitações e a metodologia adotada; também é apresentada a estrutura do trabalho;
- **Revisão Teórico-Empírica:** neste capítulo, procurou-se mostrar as características da indústria de madeira, mais especificamente no que tange à parte de serraria, de modo a tornar este trabalho acessível a leitores que não conhecem profundamente essa área. Da mesma forma, apresentou-se da forma mais didática possível os conceitos de Pesquisa Operacional e Programação Linear, fundamentais para o entendimento do trabalho;
- **A Empresa:** é uma descrição sucinta da empresa na qual foram implementadas e avaliadas as propostas deste trabalho;
- **Proposta de Implantação:** neste capítulo é descrito detalhadamente o processo no qual se enquadra esse estudo, com o posterior levantamento das hipóteses e soluções adotadas;
- **Análise dos Resultados:** realização da análise dos resultados obtidos, enfocando as dificuldades e as soluções encontradas;
- **Conclusão e Recomendações:** aqui são apresentados um breve resumo do estudo realizado e as principais conclusões do trabalho assim como propostas alternativas para seguimento deste estudo, visando aprofundar o tema em questão.

2 REVISÃO TEÓRICO-EMPÍRICA

2.1 O RECURSO FLORESTAL

O uso dado ao recurso florestal deve ser regulado pelo princípio da conservação, na sua melhor acepção. Esta é a principal razão da pressão por medidas de proteção ambiental restritivas que limitam a exploração florestal intensa e exaustiva.

Para florestas nativas, em termos práticos, isto significa otimizar o seu uso, maximizando a contribuição das florestas já em exploração. Isto é possível com a ampliação do número de espécies utilizadas e com a redução do volume de resíduos gerados na exploração e no processamento.

Em relação às florestas plantadas, a chave é o melhor aproveitamento da produção dos plantios existentes, seja pela máxima utilização da madeira gerada, seja pela opção por produtos de maior valor agregado. As florestas plantadas já são escassas na porção sul-sudeste do Brasil, especialmente junto aos principais pólos de produção e aos centros de consumo. Segundo NAHUZ (2001), a oferta de madeira reflorestada atingiu seu maior crescimento com o programa de incentivos fiscais entre 1967 e 1988. Neste período foram investidos aproximadamente US\$ 10 bilhões. Em um primeiro instante, os reflorestamentos produziram um superávit na oferta da madeira. Porém, com o término dos incentivos fiscais em 1988, iniciou-se um descompasso entre a expansão do consumo, com altas taxas de crescimento anual, e a ampliação das áreas plantadas com florestas.

Hoje, na prática, a oferta de madeira de florestas plantadas restringe-se somente àquela proveniente das plantações ligadas aos produtores de celulose e papel, e de madeira processada mecanicamente (madeira serrada e painéis à base de madeira).

Estudos recentes endossados pelas autoridades florestais projetam um déficit de madeira de florestas plantadas. Isto compromete a expansão de segmentos importantes, como os de celulose e papel, indústria moveleira, siderurgia à base de carvão vegetal, e produção de chapas e madeira serrada, entre outros.

2.2 QUALIDADE DA MADEIRA

De maneira geral, a madeira produzida pelo setor florestal brasileiro se caracteriza por volumes significativos e qualidade apenas aceitável. Isto se dá principalmente com a madeira originada de florestas nativas, mas também pode ser verificado com o produto das plantações florestais.

Os segmentos que usam madeira como matéria-prima têm sua produção baseada em operações seriadas e repetitivas, aplicadas de preferência a matérias-primas uniformes. Isto afeta diretamente a produtividade do processo e influi em definitivo na qualidade do produto.

Com as madeiras tropicais, os processadores e os consumidores se ressentem do desconhecimento de informações tecnológicas que facilitariam a seleção de espécies substitutas àquelas em regime de escassez e o processamento destas madeiras, geralmente pouco conhecidas. Tais informações podem estar já disponíveis nas instituições de pesquisas e universidades, mas carecem de ampla divulgação.

Os dados necessários para o melhor processamento das madeiras, tais como: velocidades de alimentação das toras no desdobro e tipos de dentes de serra a serem utilizados; as propriedades das espécies que afetam o seu processamento, tais como a presença de óleos e resinas ou de sílica na madeira; a indicação de programas de secagem ao ar livre ou em estufa, mais rápidos e eficazes, que resultem em menor incidência de defeitos; todos são acréscimos bem-vindos ao acervo de informações e contribuições à melhor qualidade desta matéria-prima.

As madeiras provenientes de plantações florestais atualmente já trazem uma carga significativa de desenvolvimento científico e tecnológico, na forma de melhoramento, classificação, velocidade de crescimento, resistência ao ataque de pragas, comprimento das fibras e teor de celulose, propriedades físico-mecânicas e reduzida incidência de defeitos, entre outros, mas requerem um aprimoramento continuado. Este aprimoramento deve poder garantir a uniformidade de densidades, cores e propriedades, e a redução e melhor distribuição das tensões de crescimento. Este tipo de desenvolvimento será muito bem recebido, pois afeta diretamente o desempenho e o resultado nas operações.

Tanto para as madeiras nativas quanto para as de reflorestamento, a pesquisa e a experimentação deverão abranger tópicos como as causas da variabilidade e heterogeneidade da madeira, o comportamento da mesma em relação ao tempo de uso, a mecânica das rupturas, e outros processos que afetam o uso da madeira em distintas situações.

2.3 PROCESSAMENTO INDUSTRIAL

A produção e o consumo de madeira serrada vêm crescendo nos últimos dez anos, porém com taxas diferenciadas por segmento de origem. Em 2000, a SBS estimou um total de 20,1 milhões de metros cúbicos de madeira serrada produzidos, sendo que 14,4 milhões de m³ corresponderam às folhosas nativas (71,6%), 5,2 milhões de m³ às coníferas serradas (25,9%) e 500 mil m³ ao eucalipto serrado (2,5%).

A participação relativa de madeiras tropicais nativas vem decrescendo devido a pressões ambientalistas, ao contingenciamento de cotas e planos de manejo, e às distâncias de transporte aos centros consumidores. Ainda assim, os volumes absolutos são muito significativos sendo, contudo, produzidos com técnicas relativamente primárias, de baixa produtividade e, portanto, altamente geradoras de resíduos (ROCHA, 1999).

Na mesma linha, a produção de compensados de madeiras nativas, que representa a metade da produção brasileira, tem decrescido, verificando-se a redução das exportações e a substituição dos compensados por painéis reconstituídos, principalmente no mercado doméstico.

Os principais desafios no processamento mecânico das madeiras encontram-se: nos próprios processos, carentes de planejamento e programação de produção, de sistemas de classificação, de melhoria de parâmetros de processo, do emprego de equipamentos apropriados para o tipo e as dimensões do material produzido; na falta de *layouts* adequados ao esquema de produção; e na necessidade de desenvolvimento e adequação dos processos e programas de secagem ao ar livre e em estufas, seja isoladamente ou em combinação. Uma contribuição especialmente valiosa é o redesenho do processo de produção, visando a redução do desperdício de madeira e da geração de resíduos de processo.

A madeira serrada de *Pinus* constitui a principal matéria-prima das empresas moveleiras, especialmente aquelas voltadas ao mercado de exportação, mas a crescente escassez desta matéria-prima fará com que o *Eucalipto* seja encarado como alternativa viável.

Com relação a estas matérias-primas, as áreas carentes de novos desenvolvimentos incluem a melhoria da qualidade da madeira, inclusive com a busca de densidades ideais para os produtos a que se destinam, com a redução de defeitos por aprimoramento de práticas silviculturais, como a poda, ou com a total eliminação desses defeitos pelo uso de junções coladas, do tipo *finger-joint*, para a madeira serrada.

No processamento mecânico de coníferas, maior prioridade deverá ser dada à implantação do controle total de processo (*on-line*), ao maior aproveitamento destas madeiras em esquadrias e moldurados, e ao aumento do rendimento de processo pelo uso de métodos alternativos, inclusive no desdobro de madeira de pequenos diâmetros.

As madeiras provenientes de florestas plantadas terão sua importância ainda mais ressaltada sendo utilizadas para o desenvolvimento de outros produtos como, por exemplo, os “Produtos de Maior Valor Agregado” – as molduras e perfis sem defeitos; os *fencing stocks* ou *fences* (material para cercas), destinados à exportação; os *clear blocks* e *blanks* (blocos sem defeitos, emendados ou não); os painéis colados lateralmente ou EGP (*edge-glued panels*); os compósitos (painéis compostos madeira-plástico ou madeira-outras fibras); os componentes estruturais de madeira, usando painéis reconstituídos e LVL (*laminated veneer lumber*); ou ainda os pisos estruturados, compostos, usando lâminas de madeira, MDF (*medium density fiberboard*) e poliestireno expandido, por exemplo.

2.4 TÉCNICAS E OPERAÇÕES DE DESDOBRO

Para o desdobro de toras na forma de madeira serrada, são utilizadas determinadas técnicas, chamadas de técnicas convencionais ou técnicas modernas de serrarias, de acordo com as características relacionadas ao maquinário utilizado, formas de desdobro e, principalmente, à matéria-prima.

No pátio de toras de uma serraria que utiliza técnicas convencionais, a matéria-prima geralmente é de origem nativa, com custo elevado, e apresenta uma grande variação de espécies, diâmetros e comprimentos. A grande variação faz com que haja pequenos lotes (com poucas toras) distribuídos em várias classes diamétricas. Desta forma a serraria não tem estoque suficiente para trabalhar por um período ou turno com uma única espécie, em uma única classe diamétrica. Sendo assim, para que cada tora possa ser desdobrada, é realizado um ajuste nos equipamentos de desdobro, ou seja, cada tora recebe um tratamento particular. Isto pode até implicar em um melhor aproveitamento da tora, proporcionando um maior rendimento, porém a eficiência é muito pequena. O processo convencional de desdobro de toras e das peças serradas dentro da serraria é pouco automatizado, em função da variabilidade da matéria-prima. Isto resulta em baixa produção e eficiência.

As técnicas convencionais de serraria são muito utilizadas na região Norte do país para o desdobro de madeiras de custo elevado e com muita variabilidade em termos de espécies e diâmetros, normalmente madeira nativa. Desta forma se justifica o uso destas espécies, pois a baixa produção é compensada pelo alto custo do produto final.

Já no pátio de uma serraria que utiliza técnicas modernas de desdobro, geralmente a matéria-prima tem custo relativamente baixo, ou seja, é madeira de reflorestamento, com pouca variação de espécies, diâmetros e comprimentos (GRINGEL, 1999). Se houver mais de uma espécie, estas serão muito semelhantes, consideradas com certa homogeneidade. Assim pode-se dizer que a matéria-prima é homogênea, o que na maioria das vezes só é encontrado em madeiras de reflorestamento. Ainda no pátio de toras, a madeira é descascada e selecionada por classes diamétricas. O descascamento evita o desgaste desnecessário das ferramentas cortantes e propicia a geração de resíduos (cavacos) de melhor qualidade. Em relação às classes diamétricas, estas serão poucas com muitos representantes em cada uma delas.

Como as classes diamétricas apresentam muitos representantes, é possível concentrar o trabalho em uma única classe por um período ou turno. Sendo então os equipamentos de desdobro ajustados para uma determinada classe diamétrica, pode-se aproveitar as suas máximas velocidades de desdobro. Desta forma, após o

ajuste dos equipamentos para uma determinada classe diamétrica, todas as toras receberão o mesmo tratamento dentro da serraria.

Em função da matéria-prima e dos equipamentos utilizados, o desdobro da madeira através de técnicas modernas implica em um processo rápido. A trajetória da tora e das peças serradas dentro da serraria é efetuada com grande automatização, em decorrência desta homogeneidade de matéria-prima, e a produção é alta com elevada eficiência. Tais técnicas são utilizadas para o desdobro de madeira de baixo custo e homogênea, ou seja, madeira reflorestada. Desta forma, o baixo custo também do produto final é compensado pela elevada produção da indústria.

Ainda hoje, é freqüente a utilização de técnicas inadequadas para o desdobro de madeira reflorestada. Esta situação se deve principalmente à baixa concorrência, à boa oferta de matéria prima, mão-de-obra barata e pouca exigência do mercado, entre outros fatores. Além disso, em função do elevado custo dos equipamentos e da instabilidade econômica do país, na maioria das vezes, o serrador sente-se desestimulado a investir, buscando adaptar o que tem disponível ao invés de adequar a indústria com novos e modernos equipamentos.

No entanto, atualmente vem-se observando uma escassez de matéria-prima, uma elevação dos custos de mão-de-obra e um grande aumento da concorrência. Associada a estes fatos, a possibilidade de exportação tem estimulado o setor a uma redefinição de processos. Assim, em função das pequenas variações nos diâmetros utilizados e da homogeneidade da matéria-prima, surge uma oportunidade de implantação de sistemas de automação, reduzindo muito os custos de mão-de-obra e melhorando a eficiência da serraria (HESSELBACH e SCNETTKER, 2001). Tais sistemas podem estar presentes dentro da serraria desde o pátio de toras, passando pelos processos de desdobro e classificação, até o empacotamento e expedição dos produtos.

No pátio de toras é imprescindível a instalação de um sistema de classificação, principalmente em classes diamétricas e qualidade das toras. É recomendável ainda que seja realizado o descascamento das toras, pois com este procedimento pode-se melhorar muito a qualidade dos resíduos, o que, na maioria das vezes, estabelece o lucro da empresa. Atualmente, uma serraria que não

racionaliza o destino dos resíduos gerados pode sofrer graves consequências do mercado, tornando-se pouco competitiva.

Devido à grande concorrência em termos de disponibilidade de matéria-prima, é necessário que uma serraria busque o seu máximo aproveitamento. Isto requer um planejamento em função dos produtos da empresa e das classes diamétricas disponíveis, estabelecendo-se diagramas de corte que visem o máximo rendimento com a maior eficiência possível.

BIASI (1998), avaliando o desdobro de *Pinus spp.* em duas linhas diferentes, verificou que uma linha que utilizava serra circular dupla em uma das operações sofria freqüentes paradas em função das alturas de corte incompatíveis das peças. Este é um exemplo claro da falta de planejamento em termos de diagramas de corte em função das classes diamétricas e dos equipamentos disponíveis na indústria. Estas paradas afetam a eficiência da serraria.

Na obtenção de madeira serrada, quanto maior for o nível de automação de uma indústria, maior será a sua eficiência, ou seja, maior será a quantidade de m³ serrados por operário em um turno. No entanto, isto não significa que a serraria terá o máximo rendimento, pois este ainda é afetado pelo diâmetro das toras, bitolas fabricadas e equipamentos utilizados (ARENS e NIEMEYER, 1991).

Ao se utilizar técnicas de redução, que consistem em se reduzir as dimensões das toras para posteriores desdobramentos em outros equipamentos, pode-se ter variações no rendimento em função dos equipamentos utilizados. Quando se opta por serras circulares, tem-se um rendimento em madeira serrada menor com uma eficiência maior. Porém, quando se opta por serras-fita, tem-se um aumento no rendimento com uma eficiência mais baixa. Entra aí novamente o planejamento e a avaliação econômica, onde se deve levar em conta o custo da mão-de-obra, da matéria-prima e dos equipamentos, a fim de se atingir os melhores resultados econômicos (ASSMAN, 1970).

Após a passagem nas serras de redução, as toras já transformadas em peças menores vão para as resserras e as partes externas das mesmas (normalmente costaneiras) seguem para as resserras de reaproveitamento. Nestas operações, deve ser sempre obedecido um fluxo linear com o máximo de automação, o que proporciona uma eficiência máxima no uso de mão-de-obra e dos equipamentos.

Após as operações de desdobro, tem-se a classificação da madeira serrada, que deve ter o máximo de rigor e critério, visando uma melhoria na qualidade dos produtos, atingindo melhor preço e aumentando as possibilidades de exportação.

Como exemplo de classificação criteriosa, tem-se a separação de peças serradas de *Pinus spp.* por plano de corte. Ao se separar peças serradas com faces tangenciais tem-se desenhos esteticamente mais adequados, no caso de painéis maciços, do que com faces radiais. Tal procedimento pode melhorar o preço do painel acabado (ROCHA, 1999).

Atualmente, as serrarias que têm como matéria-prima madeira de reflorestamento passam por uma situação de certo modo inadequada. Em termos de equipamentos, normalmente são observadas tentativas de adaptação de equipamentos pouco apropriados à maioria das operações necessárias, prejudicando a qualidade, o rendimento dos produtos e, principalmente, a eficiência das operações. Associado a isto, tem-se ainda baixos níveis de automação e pouca preocupação com a manutenção de serras e equipamentos.

No que diz respeito à matéria-prima, esta freqüentemente apresenta baixa qualidade, em função da inicial necessidade que gerou a implantação dos povoamentos hoje disponíveis, onde as técnicas silviculturais e de manejo sempre foram direcionadas para a geração de biomassa e não de madeira de qualidade para serrarias. Juntamente, em função da falta de estudo e planejamento, observa-se um baixo aproveitamento da matéria-prima utilizada, com nenhuma ou pouca utilização dos resíduos gerados no setor.

Desta forma, tem-se como desafio a modernização dos equipamentos buscando-se alternativas de automação dos processos, o que acarretará ganhos em eficiência, rendimento e qualidade dos produtos, através de uma criteriosa avaliação de custos. Quanto à matéria-prima, é necessário um maior critério na seleção e um maior aproveitamento da mesma. Em termos de resíduos, é necessário que o serrador deixe de tratá-los como subprodutos e passe a vê-los como produtos, pois eles podem concentrar grande parte dos lucros de uma serraria.

2.5 PESQUISA OPERACIONAL

A Pesquisa Operacional (PO) como ciência surgiu para resolver, de uma forma mais eficiente, os problemas de administração nas organizações, de distribuição ótima de recursos, etc., originados pelo acelerado desenvolvimento provocado pela revolução industrial.

Desde a chegada da revolução industrial, o mundo tem assistido a um acelerado crescimento da complexidade das empresas e organizações. Uma componente importante do desenvolvimento tem sido a divisão do trabalho, que é também refletida na segmentação da administração.

Este considerável aumento da complexidade e da especialização, quer na produção, quer na gestão, tem levantado vários problemas. Pode-se citar entre eles:

- complexidade na distribuição e utilização ótima dos recursos (geralmente limitados) para obter uma melhor eficácia dentro de toda a organização;
- complexidade na administração da organização em geral: as diferentes componentes dentro de uma organização, convertidas em sistemas autônomos com objetivos e administração próprias, por vezes, perdem a perspectiva da forma em que estes objetivos devem estar integrados com os objetivos da organização em geral; os objetivos cruzam-se: o que pode ser melhor para uns pode ser prejudicial para outros.

A necessidade de resolver de uma forma mais eficiente estes e outros problemas conduziu ao surgimento da PO como ciência, sendo sua origem atribuída à coordenação das operações militares durante a Segunda Guerra Mundial, quando George Dantzig apresentou o método *Simplex* para a resolução dos problemas de Programação Linear (PL).

Historicamente, a Programação Linear encontra as suas raízes na Antigüidade, e é desde então que muitos cientistas têm dedicado os seus estudos à pesquisa da otimização (HILLIER e LIEBERMAN, 1988). Entre estes cientistas pode-se citar: Euclides, Newton, Lagrange, e do século XX: Leontief, Von Neumann, etc.

Em 1939, o matemático e economista soviético L. V. Kantorovich também formulou e resolveu problemas ligados à otimização na administração das organizações, só que o seu trabalho se manteve desconhecido até 1959.

Em virtude disto, a origem da PO como ciência é atribuída à coordenação das operações militares durante a Segunda Guerra Mundial. Durante a guerra, era necessário distribuir recursos militares, homens, etc., em determinadas operações de uma forma eficaz. Para isto foi procurada uma equipe de cientistas que pudesse resolver os problemas de estratégia e tática militar.

Em 1947, George Dantzig e outros cientistas, dentro do projeto SCOOP (*Scientific Computation of Optimum Programs*), no Departamento da Força Aérea Americana, apresentaram uma forma sistemática de resolução dos problemas de Programação Linear (um dos ramos mais desenvolvidos e mais utilizados da PO) que se designa por Método *Simplex*.

Com a apresentação do Método *Simplex*, a PO, em geral, e a PL, em particular, deram um grande salto. É a partir de então que as aplicações de PO não cessaram, envolvendo valiosas contribuições de economistas e matemáticos.

O desenvolvimento da Informática é outro dos fatores que têm contribuído para a evolução acelerada desta ciência nas últimas décadas.

2.5.1 Características Fundamentais da Pesquisa Operacional

As características fundamentais da PO são:

- A aplicação de métodos científicos na gestão das organizações: uma abordagem quantitativa e qualitativa na tomada de decisões;
- Orientação sistêmica: o problema é analisado no contexto de um sistema que inclui diversas componentes inter-relacionadas; as soluções devem satisfazer toda a organização, ou seja, o sistema completo;
- Extensão: pode ser aplicada a um largo número de organizações – negócios, economia, indústria de manufaturados, indústria militar, governos, agências, hospitais, etc.

2.5.2 Impacto da Pesquisa Operacional

A PO tem provocado um significativo impacto na gestão e administração de empresas e de diferentes organizações. Depois do sucesso obtido na Segunda Guerra Mundial, os serviços militares dos Estados Unidos continuam a trabalhar

ativamente nesta área. Tendo sido denominada como “a ciência da administração”, sua utilização e implementação têm sido estendidas a numerosas firmas, empresas, companhias, indústrias, transportes, aviação, etc.

2.5.3 Etapas da Pesquisa Operacional

2.5.3.1 Formulação do Problema

Primeiramente deve-se formular corretamente o problema em estudo. O problema deve ser analisado a partir de um sistema integrado, onde interagem várias componentes, todas elas interdependentes, sendo preciso obter uma solução ótima que satisfaça a todas elas (SCHRIJVER, 1986).

Nesta etapa devem ficar bem definidos:

- os objetivos que se pretendem alcançar com a resolução do problema;
- as restrições (limitações) existentes no sistema em geral;
- as relações de interdependência de todas as componentes integrantes do sistema.

Este passo deve ser executado com muita responsabilidade, e obviamente, a formulação inicial será sempre reformulada até que se alcance a que melhor represente a situação real em estudo.

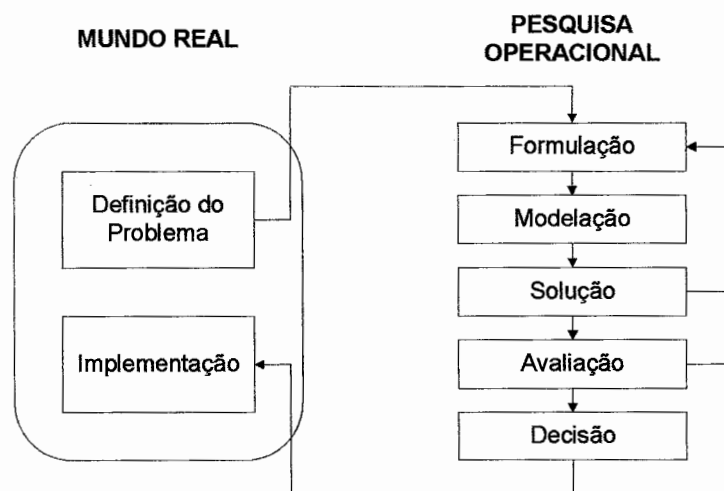


FIGURA 1 – FLUXOGRAMA DOS PRINCIPAIS PASSOS DA PESQUISA OPERACIONAL PARA A SOLUÇÃO DE UM PROBLEMA

2.5.3.2 Construção do Modelo Matemático

A modelação matemática de um problema possibilita uma melhor compreensão da essência do mesmo. Um modelo é uma representação simplificada de uma situação da vida real e reflete a essência do problema, representando as relações de interdependência existentes entre todas as componentes da situação em estudo.

Um modelo matemático é uma representação simplificada de uma situação da vida real, formalizada com símbolos e expressões matemáticas. Especificamente, um modelo matemático de um problema de otimização é representado por um sistema de equações (ou inequações) que descrevem a essência do problema (CHVATAL, 1983).

Um modelo matemático de um problema de otimização determina os valores de um número N de decisões a serem tomadas, denominadas variáveis de decisão: x_1, x_2, \dots, x_N , inter-relacionadas por uma função matemática, que representa a medida da vantagem (ou desvantagem) associada à tomada de decisão. Esta função é denominada função objetivo. Qualquer restrição associada às variáveis de decisão pode ser representada por equações (ou inequações) matemáticas, sendo estas expressões denominadas restrições do modelo. Todas as constantes (coeficientes) da função objetivo e das restrições são denominadas parâmetros do modelo.

Os aspectos fundamentais a se considerar no processo de modelação são os seguintes (GIRÃO e ELLENRIEDER, 1997):

- Simplificar sem perder a essência do problema: para formular matematicamente um problema da vida real, por vezes complexo, é preciso começar por uma representação, o mais simples possível, do mesmo, ou seja, simplificar o problema em estudo, mas tomando-se os devidos cuidados, já que a simplificação do modelo deve corresponder à realidade, de tal forma que as soluções obtidas através do modelo matemático possam realmente ser aplicadas na vida real;
- Processo em espiral: geralmente, este processo de modelação desenvolve-se em forma de espiral, começando por uma representação simplificada do problema até se chegar, depois de vários ciclos, a uma representação mais próxima da situação em estudo na vida real. Um

problema pode ser reformulado e remodelado perante as seguintes situações:

- Durante a etapa da avaliação do modelo e de suas soluções, os resultados demonstram que é preciso uma reformulação do problema (incorporando novas restrições, alterando os valores de alguns dos parâmetros, etc.);
- Depois de avaliadas e implementadas as soluções, pretende-se agora avançar para uma etapa superior; nesta etapa o modelo vai ser enriquecido com novos elementos, ainda mais complexos.

Este processo de reformulação e remodelação pode repetir-se, até que o modelo desenvolvido e suas soluções representem, o mais fielmente possível, a complexidade do problema em estudo, e as soluções implementadas satisfaçam completamente os principais objetivos traçados;

- Escolha do modelo certo: na maioria das situações, o problema pode ser representado por modelos e problemas típicos já desenvolvidos pela PO. Neste caso, formular matematicamente o problema não é mais do que convertê-lo em certos modelos e problemas típicos da PO (modelos de Programação Linear, Programação Dinâmica, problema de transporte, etc.).

Resumidamente, a PO estrutura e formula um problema de otimização da vida real dentro de um modelo matemático, refletindo a essência do problema, de forma que as conclusões e soluções obtidas possam ser aplicadas na situação real.

2.5.3.3 Determinação da Solução

Uma vez realizada a formulação matemática do problema, é preciso aplicar métodos e algoritmos desenvolvidos para a resolução do correspondente modelo de PO. Para isto podem ser utilizados muito dos *softwares* e pacotes de computação disponíveis para a resolução de problemas de PO.

Se o modelo foi corretamente formulado, a solução obtida pode ser uma boa aproximação daquela a ser implementada na situação real. Qualquer modelo, como

representação do problema, possui um certo grau de incerteza, motivado fundamentalmente pelas simplificações efetuadas. Uma solução ótima do modelo pode estar longe de ser a solução ótima na situação real.

Neste passo é incorporado outro tipo de análise denominada “análise de sensibilidade e pós-otimização”, em que é abordado o comportamento da solução ótima quando são efetuadas pequenas alterações em certos parâmetros do modelo. Para isto, é preciso determinar quais são os parâmetros do modelo que mais influenciam a solução ótima (denominados parâmetros “sensíveis”).

A análise de sensibilidade e pós-otimização possibilita um espectro mais extenso de soluções quando ocorrem alterações nestes parâmetros “sensíveis”. Uma vez concluído este passo, avaliam-se as várias propostas de modelos e as respectivas soluções ótimas.

2.5.3.4 Avaliação do Modelo e da Solução

Nesta etapa serão avaliados o modelo escolhido e as soluções obtidas. Dependendo das conclusões da avaliação, será determinado o passo a seguir:

- Avaliação satisfatória: proceder à tomada de decisão, que prepara as condições para a implementação da solução obtida na situação real;
- Avaliação não satisfatória: proceder à reformulação, remodelação e resolução do novo modelo, a partir dos resultados obtidos no processo de avaliação e também na análise de sensibilidade e pós-otimização.

2.5.3.5 Tomada de Decisão na Solução Encontrada

Uma vez concluída satisfatoriamente a etapa de avaliação, é preciso elaborar um relatório bem documentado que possibilite a implementação da solução obtida na situação real. Este relatório deve incluir o modelo e um procedimento para a tomada de decisão, o que significa que todas as ações que devem ser realizadas para implementar os resultados do estudo de PO devem estar incluídas numa metodologia bem detalhada, incluindo todos os passos que sejam necessários para a sua implementação.

2.5.3.6 Implementação

Neste passo efetua-se a implementação das soluções obtidas usando a metodologia elaborada. No processo de implementação é preciso envolver ativamente a administração e todas as componentes da organização que atuam no sistema em estudo.

Como foi mencionado no item 2.5.3.2, após a implementação das soluções, pode ser necessário avançar para uma etapa mais complexa do problema, incluindo alguns elementos novos. Neste caso, inicia-se um novo ciclo para a resolução do problema em causa, só que agora com um nível superior de complexidade de mesmo.

A formulação e resolução de modelos matemáticos para os problemas de otimização representam apenas uma parte de todo o processo que envolve um estudo de Pesquisa Operacional. Os outros passos aqui mencionados, também são de grande importância para o sucesso da resolução do problema em estudo.

2.5.4 Problemas de Programação Matemática (PM) como Problemas de Otimização

Os Problemas de Otimização são problemas de maximização ou minimização de funções de variáveis num determinado domínio normalmente definido por um conjunto de restrições nas variáveis (HILLIER e LIEBERMAN, 1988). Estes problemas tiveram origem na Física e na Geometria a partir do século XVII.

Os problemas de Programação Matemática são uma classe particular de Problemas de Otimização, que surgem na década de 1940, aplicados nos campos da organização e da gestão econômica, em que o objetivo e as restrições são dados como funções matemáticas e relações funcionais. A Programação Matemática pode ser utilizada para planejar as atividades de problemas que podem ser representados matematicamente pelo modelo: maximizar ou minimizar $f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ satisfazendo:

$$\begin{aligned} g_1 &= (x_1, x_2, \dots, x_N) \{ \leq, =, \geq \} b_1 \\ &\vdots \\ g_M &= (x_1, x_2, \dots, x_N) \{ \leq, =, \geq \} b_M \end{aligned}$$

em que: x_1, x_2, \dots, x_N são as N variáveis de decisão;

$f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ é função objetivo;
 g_1, g_2, \dots, g_M são as M restrições.

Os problemas de Programação Matemática podem ser classificados em:

- lineares: se $f(x_1, x_2, \dots, x_N)$, $g_i(x_1, x_2, \dots, x_N)$, $i=1 \dots M$ são funções lineares;
- não-lineares: se alguma das relações $f(x_1, x_2, \dots, x_N)$, $g_i(x_1, x_2, \dots, x_N)$, $i=1 \dots M$ for uma função não-linear.

Os problemas de Programação Matemática como Problemas de Otimização abrangem a análise e o estudo de sistemas de forma a determinar o programa de ação mais adequado ao atendimento de certo objetivo, tendo em conta as restrições que limitam o seu comportamento.

2.5.5 Problemas de Programação Linear como Classe Particular dos Problemas de Programação Matemática

Os problemas de Programação Linear (PL) são uma classe particular de problemas de Programação Matemática (PM), onde a função objetivo e as restrições podem ser representadas por funções lineares, ou seja, todas as funções $f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ e $g_i(x_1, x_2, \dots, x_N)$ são lineares.

Os problemas de Programação Linear determinam o planeamento ótimo de atividades, ou seja, um plano ótimo que representa a melhor solução entre todas as soluções possíveis.

2.5.6 Exemplo de Aplicação

A fim de elucidar como funciona o planeamento mediante a utilização de Programação Linear, tome-se o seguinte exemplo: uma empresa produz artigos de vidro de alta qualidade – janelas e portas, em três setores de produção:

- Setor de Serralheria: para produzir as estruturas de alumínio;
- Setor de Carpintaria: para produzir as estruturas de madeira;
- Setor de Vidro e Montagem: para produzir o vidro e montar as portas e janelas.

Devido à diminuição dos lucros, o gerente decide reorganizar a produção, e propõe produzir somente dois produtos que têm uma melhor aceitação entre os clientes. Estes produtos são:

- Produto 1: uma porta de vidro com estrutura de alumínio;
- Produto 2: uma janela grande com estrutura de madeira.

O departamento de *Marketing* da empresa concluiu que a empresa pode vender o quanto queira de qualquer dos dois produtos, tendo em conta a capacidade de produção disponível.

Como ambos os produtos partilham a capacidade de produção do setor 3, o gerente solicitou ao Departamento de Engenharia da empresa a resolução deste problema.

O Departamento de Engenharia formulou o problema, utilizando os seguintes dados:

- A capacidade de produção por minuto de cada setor a ser utilizada na produção destes produtos;
- A capacidade de produção por minuto de cada setor, a ser utilizada para produzir uma unidade de cada produto;
- Os lucros unitários para cada produto em reais.

Estes dados estão resumidos na Tabela 1:

TABELA 1 - DADOS RELATIVOS AO EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE PL

Setor	Capacidade utilizada por unidade de produção		Capacidade disponível
	Produto 1	Produto 2	
1	1	0	4
2	0	2	12
3	3	2	18
Lucro unitário (em Reais)	3	5	

O problema, formulado como Problema de Programação Linear (PPL), consiste em escolher x_1 e x_2 de modo a maximizar:

$$Z = 3x_1 + 5x_2$$

de modo que:

$$\begin{cases} x_1 \leq 4 \\ 2x_2 \leq 12 \\ 3x_1 + 2x_2 \leq 18 \\ x_1 \geq 0 \\ x_2 \geq 0 \end{cases}$$

onde: x_1, x_2 é número de unidades do produto 1 e 2, respectivamente, produzidas por minuto;
 Z é lucro total por minuto.

2.5.6.1 Representação Gráfica do Exemplo

Primeiramente, é necessário construir um sistema de eixos cartesianos x_1 e x_2 . Em seguida, devem-se identificar os valores de x_1 e x_2 que satisfaçam todas as condições. A primeira condição a ser atendida é a de “não negatividade”: $x_1 \geq 0$, $x_2 \geq 0$, ou seja, os pontos x_1 e x_2 devem estar situados no primeiro quadrante do gráfico.

As restrições a serem atendidas são:

- $x_1 \leq 4$, ou seja, os pontos x_1 e x_2 estão situados à esquerda ou sobre a reta $x_1 = 4$;
- $2x_2 \leq 12$ e $x_2 \leq 6$, ou seja, os pontos x_1 e x_2 estão situados abaixo ou sobre a reta $x_2 = 6$;
- $3x_1 + 2x_2 \leq 18$, ou seja, os pontos x_1 e x_2 estão situados abaixo ou sobre a reta $3x_1 + 2x_2 = 18$.

O resultado final encontra-se na Figura 2, onde a região sombreada indica o conjunto dos pontos que satisfazem todas as restrições (conjunto de admissibilidade).

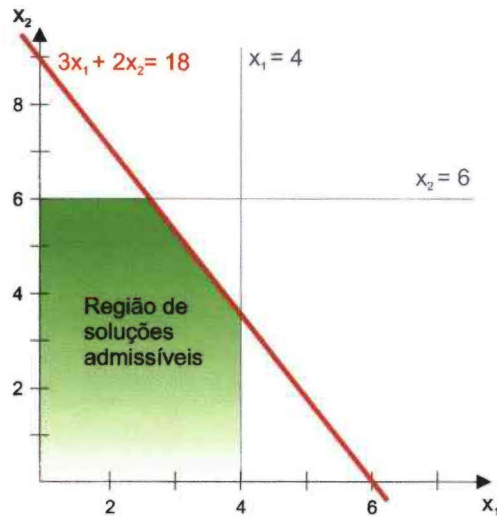


FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO CONJUNTO DE ADMISSIBILIDADE DO EXEMPLO

A função objetivo $Z = 3x_1 + 5x_2$ define uma reta que pode ser deslocada paralelamente no sentido do seu gradiente (garantindo o crescimento de Z), até se tornar tangente à região admissível. Os pontos de tangência obtidos (um, nenhum, ou uma infinidade) correspondem aos pontos da região admissível que otimizam a função objetivo.

A reta escolhida é $36 = 3x_1 + 5x_2$, que passa pelo ponto de coordenadas $(2,6)$, conforme ilustrado na Figura 3. Assim, a solução pretendida é $x_1 = 2$ e $x_2 = 6$.

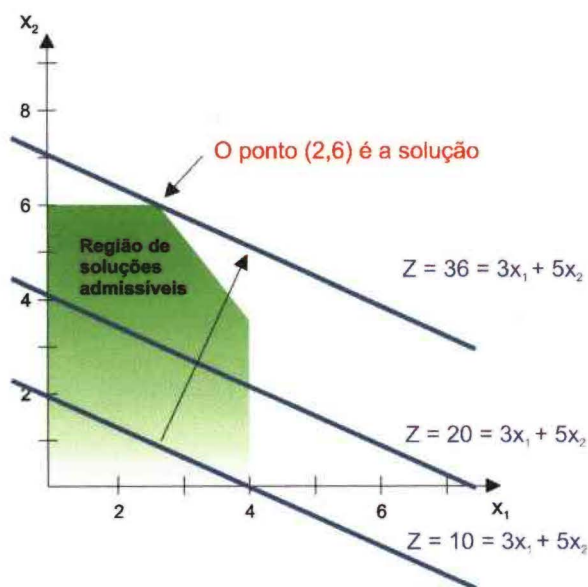


FIGURA 3 – SOLUÇÃO GRÁFICA ÓTIMA DO EXEMPLO

Esta solução corresponde ao seguinte plano ótimo de produção: a empresa deve fabricar duas portas (produto 1) e seis janelas (produto 2) obtendo um lucro de 36 Reais por minuto.

2.5.7 Modelo Geral de Programação Linear

O exemplo da empresa mostrado no item 2.5.6 ilustra um problema típico de Programação Linear, concretamente um exemplo de planejamento da produção. Generalizando as componentes deste exemplo, pode-se procurar os seus equivalentes nos termos gerais da Programação Linear, como são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - TERMINOLOGIA DA PROGRAMAÇÃO LINEAR

Exemplo	Problema Generalizado
Capacidade de produção das seções: 3 seções Produção de produtos: 2 produtos. Total de produtos a produzir por minuto : x_j Lucro: Z	Recursos: M recursos Atividades: N atividades. Nível da atividade j : x_j Medida da vantagem/desvantagem: Z

Utilizando esta terminologia, os dados do exemplo podem ser reescritos, como são apresentados na Tabela 3:

TABELA 3 - QUADRO REPRESENTATIVO DO EXEMPLO

Recursos: capacidade de produção por setor	Utilização da capacidade de produção dos setores para produzir o produto		Capacidade disponível de cada setor
	Produto 1	Produto 2	
Setor 1	1	0	4
Setor 2	0	2	12
Setor 3	3	2	18
Lucro Unitário	3	5	
Nível de Atividade	x_1	x_2	

De uma forma geral pode-se substituir o quadro anterior e obter um quadro generalizado de um problema de Programação Linear onde estão envolvidas N atividades partilhando M recursos limitados, conforme ilustrado na Tabela 4.

TABELA 4 - QUADRO GERAL PARA PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Atividades Recursos	Utilização do recurso por atividade				Total de recurso disponível
	1	2	...	N	
1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1N}	b_1
2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2N}	b_2
...
M	a_{M1}	a_{M2}	...	a_{MN}	b_M
Lucro Unitário	c_1	c_2	...	c_N	
Nível de Atividade	x_1	x_2	...	x_N	

Na representação algébrica, tem-se que maximizar (ou minimizar, conforme o caso) a função:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_Nx_N$$

de modo que:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1N}x_N \{ \leq, =, \geq \} b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j + \dots + a_{2N}x_N \{ \leq, =, \geq \} b_2 \\ \vdots \\ a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j + \dots + a_{iN}x_N \{ \leq, =, \geq \} b_i \\ \vdots \\ a_{M1}x_1 + a_{M2}x_2 + \dots + a_{Mj}x_j + \dots + a_{MN}x_N \{ \leq, =, \geq \} b_M \\ x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N \geq 0 \end{cases}$$

onde: a_{ij} , b_i e c_j ($i=1, 2, \dots, M$, $j=1, 2, \dots, N$) são constantes e em cada restrição apenas se verifica uma e só uma das relações $\{ \leq, =, \geq \}$.

Os problemas de Programação Linear podem ser formulados de acordo com um modelo matemático geral, que consiste na determinação de valores não negativos para as variáveis $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N$, a satisfazer um sistema de M equações (ou inequações) lineares que maximizem ou minimizem uma função real linear dessas variáveis.

2.5.8 Exemplos Clássicos de Programação Linear

2.5.8.1 Transporte

Suponha-se que um sistema de distribuição alimenta N armazéns a partir de M grandes unidades produtoras. Conhecendo os custos de transporte, a procura prevista para cada armazém e as capacidades máximas de produção de cada unidade, pode-se determinar o programa de distribuição com menor custo.

2.5.8.2 Composição

Conhecendo os conteúdos calóricos e vitamínicos de diversos alimentos, bem como os seus preços, pode-se otimizar a composição da dieta a adotar de modo a minimizar o seu custo e a satisfazer níveis mínimos de calorias e vitaminas.

2.5.8.3 Produção

Supondo que uma fábrica é capaz de produzir N produtos distintos utilizando M recursos limitados, os quais podem ser horas de trabalho ou tempos de operação de várias máquinas, matérias-primas, serviços, etc., e conhecendo-se o lucro unitário e as quantidades de recurso utilizadas para cada produto, e as quantidades de recursos disponíveis, pode-se determinar o plano ótimo de produção com o maior lucro.

2.5.9 Método *Simplex*

O método geométrico utilizado no exemplo descrito no item 2.5.6 é utilizado apenas para problemas com duas ou três variáveis. Quando o problema envolve quatro ou mais variáveis, é necessário recorrer a outras técnicas, como o Método *Simplex* (DANTZIG, 1997).

O método *Simplex* é um procedimento iterativo de busca, isto é, ele começa num vértice da região viável e move-se de um vértice viável a outro até encontrar o vértice ótimo. A rotina computacional do método *Simplex* é baseada na álgebra de matrizes e consiste essencialmente na obtenção de uma matriz inversa, a fim de se resolver um conjunto de equações lineares simultâneas.

Para a resolução pelo *Simplex* é necessário transformar as desigualdades em igualdades, adicionando-se, para isso, variáveis positivas denominadas variáveis auxiliares (ou de folga) ao membro esquerdo das desigualdades.

Não é objetivo deste trabalho detalhar o funcionamento do método *Simplex*, porém cita-se o mesmo devido ao fato de que o *Microsoft Excel*, software utilizado na otimização do sistema descrito neste trabalho, utiliza esse método na resolução de sistemas lineares de equações.

2.6 UTILIZAÇÃO DE PLANILHAS ELETRÔNICAS COMO INTERFACE PARA MODELAGEM

O efeito da popularização dos computadores e sua contribuição para uma maior utilização de técnicas de pesquisa operacional nas empresas são bastante conhecidos. A redução do seu custo, juntamente com o aumento de seu desempenho, permitem hoje que até mesmo problemas de otimização de grande porte sejam tratados em computadores pessoais, e isto nas salas de gerentes e analistas, e não mais nos centros de processamento de dados onde ficam – ou ficavam – os *mainframes* (PIDD, 1998).

Esta evolução do *hardware* veio acompanhada de uma evolução dos *softwares*, contribuindo também significativamente para uma maior utilização da Pesquisa Operacional nas empresas. E isto não foi diferente para os aplicativos de Programação Matemática, que são o assunto de interesse deste estudo. Estes aplicativos podem ser vistos como a conjunção de dois *softwares*, distintos um do outro, mas complementares nas suas funções:

- O primeiro é o *solver*, que recebe como dado de entrada a matriz que representa o problema de Programação Matemática com suas restrições e função objetivo, aplica um ou mais métodos de otimização (*Simplex*, *Simplex* revisado, *Dual Simplex*, pontos interiores, *branch and bound* e outros), retornando os valores ótimos das variáveis;

- O segundo *software*, a interface, tem a função básica de gerar esta matriz, a partir de um formato que dependerá da implementação, podendo ser uma linguagem de modelagem algébrica, uma planilha eletrônica, etc. As interfaces possuem instrumentos para preparação de dados, análises de resultados, alteração e formulação de modelos.

Buscando alcançar uma parcela cada vez maior de usuários, os fornecedores destes aplicativos procuraram desenvolver interfaces mais amigáveis cuja utilização não ficasse restrita aos especialistas. Desta forma, inovações foram incorporadas no sentido de oferecer maior facilidade e rapidez na modelagem, bem como uma maior e melhor conectividade a sistemas de bases de dados usualmente utilizados e comercializados no mercado, como os produtos *Access*, *Dbase*, ou mesmo *Excel* e *Lotus 123*. Evidentemente, os avanços obtidos não se limitaram a uma melhor interface, mas também a *solvers* mais eficientes, incorporando os últimos desenvolvimentos em termos de algoritmos, capazes de tratar problemas maiores e em menor tempo, mesmo em computadores pessoais.

No entanto, ao apresentar seus produtos, os fornecedores têm dado grande destaque à facilidade de desenvolvimento e utilização dos modelos, bem como à sua conectividade, como se pode observar nos anúncios destes *softwares* em revistas especializadas e também em suas *home-pages*, divulgadas na *Internet*. Demonstram, portanto, estar atentos às necessidades de seus potenciais clientes, pois, como indica uma pesquisa realizada por BALLOU e MASTERS (1993), o principal critério de escolha na seleção de *softwares* para localização e distribuição da produção, um subconjunto importante das aplicações de programação matemática, é justamente a facilidade de utilização. Em segundo e quarto lugar no ranking desta pesquisa vêm a utilização de gráficos para visualização de resultados e a compatibilidade entre sistemas (conectividade), características relacionadas à interface; por último, a velocidade computacional.

Dentre os aplicativos atualmente disponíveis, encontram-se os que utilizam o ambiente de planilhas eletrônicas como interface para construção de modelos de programação matemática. Estes se destacam justamente pela facilidade de modelagem e pela não exigência de conhecimentos de uma linguagem específica, a não ser as operações básicas utilizadas nas planilhas comuns. De fato, tem crescido a sua utilização, mesmo em outras áreas da pesquisa operacional como otimização,

análise de risco, previsão de demanda, tirando proveito da grande aceitação que as planilhas têm no meio empresarial: há estimativas de que existem atualmente cerca de 30 milhões de usuários, de acordo com FOURER (1993).

Entretanto, longe de se tornar um padrão dominante, a adoção de planilhas eletrônicas como interface para modelagem de problemas de Programação Matemática apresenta limitações que devem ser contrastadas às vantagens oferecidas.

3 A EMPRESA

3.1 UMA VISÃO MUNDIAL

A *Forestal Terranova* tem marcado importante presença no setor florestal chileno desde 1988 como uma *holding* de empresas florestais e industriais, destinadas a oferecer um produto de alta qualidade e valor agregado.

O conglomerado iniciou sua etapa de desenvolvimento ao integrar, sob o nome *Terranova*, plantações florestais de rápido crescimento e instalações industriais, a fim de cumprir seu principal objetivo empresarial: incorporar valor agregado à madeira e com isto converter-se em um dos principais produtores e exportadores de produtos remanufaturados de *Pinus Radiata* de seu país.

Desta forma, ano a ano, a *Forestal Terranova* tem incrementado sua presença regional e sua integração vertical através de investimentos em processos industriais com tecnologia de ponta, obtendo uma ampla diversidade de produtos e desenvolvendo vantagens competitivas que a tem transformado em uma das empresas mais importantes do setor florestal chileno.

Forestal Millalemu S.A. e *Andinos S.A.* são filiais do conglomerado que se localizam nas cidades de *Chillán* e *Cabrero*, na oitava região do sul do Chile. Ambas trabalham com estruturas organizacionais descentralizadas, integrando verticalmente sua atividade a fim de chegar o mais próximo possível do cliente.

Pouco a pouco, ao complexo industrial existente no Chile, têm-se somado empresas localizadas no exterior que, apesar da distância geográfica, mantêm a mesma política da matriz e têm sabido aproveitar a experiência de quase vinte anos de criação, industrialização e comercialização de produtos florestais, somando entre elas, todas as sinergias possíveis.

Com o objetivo de canalizar o investimento de capitais no exterior em projetos relacionados à colheita, industrialização e comércio de manufaturas florestais, em 1996 foi criada a *Terranova Internacional*, proprietária de 100% dos investimentos fora do Chile.

Em sua busca por negócios com vantagens competitivas e onde se possa aplicar a experiência nacional, a *Terranova Internacional* investiu primeiramente em plantações de *Pinus* na Venezuela e no Brasil, que derivaram em contínuos projetos

industriais, tanto na área de serraria e remanufatura, como na de painéis e aglomerados. Logo marcou presença na região com o projeto “Latino América Região Norte”, consistente na abertura de empresas comerciais no México, Guatemala, Costa Rica, Venezuela e Colômbia, a fim de desenvolver o mercado de painéis de MDF e de partículas no setor.

Finalmente, tem-se o centro de estocagem e distribuição em Charleston, Estados Unidos, com a *Terranova Forest Products*, que visa o pronto atendimento ao mercado consumidor da construção civil norte-americana.

3.2 A EMPRESA NO BRASIL

Ao final de junho de 1997 constituiu-se legalmente uma nova empresa do grupo: a Terranova Brasil Ltda. O investimento global inicial foi de US\$ 95 milhões, sendo a metade destes recursos utilizada na aquisição do patrimônio florestal. A empresa possui mais de oito mil hectares de plantações de *Pinus Taeda* e *Elliotti*, e segue em processo de aquisição de novas áreas de floresta para suprir as novas necessidades de matéria-prima.

A filial brasileira está localizada na cidade de Rio Negrinho, no planalto norte do Estado de Santa Catarina. Na mesma região concentram-se todos os patrimônios florestais e o complexo industrial.

A unidade fabril possui 17 hectares, onde está instalada a serraria objeto deste estudo. A capacidade inicial projetada foi de 130.000 m³ de madeira serrada na serraria, e 68.000 m³ de molduras na planta de remanufatura. Atualmente, a produção anual gira em torno de 200 mil m³ de madeira serrada e 90.000 m³ de molduras. Observa-se que o maquinário existente na indústria não sofreu incrementos substanciais e os novos índices de produção foram atingidos somente mediante a racionalização dos recursos. Contando com mais de 600 funcionários diretos, além de várias empresas terceirizadas que prestam serviços nos processos de menor valor agregado, o faturamento anual gira em torno dos US\$ 36 milhões.

A malha viária existente na região promove uma rápida integração entre o patrimônio florestal, a unidade industrial e a área portuária para a exportação do produto final. Todas estas condições permitem uma rápida fluidez que possibilita a implementação de uma logística mais eficiente e competitiva.

3.3 MERCADO EXTERNO

A Terranova Brasil apresenta três linhas de produtos, definidos e diferenciados, que atendem a três mercados internacionais. São eles: molduras *finger-joint*, destinadas ao mercado de construção civil dos Estados Unidos; componentes de portas para abastecer a unidade industrial do Chile; e madeira para móveis e *pallets*, exportada para o mercado mexicano.

A principal linha de produção é a de molduras, correspondendo a aproximadamente 80% do volume total produzido. A produção destas molduras se baseia em um processo chamado *finger-joint*, que consiste na eliminação ou direcionamento dos defeitos nas tábuas de madeira mediante o traçamento no comprimento, comumente denominado destopo, e posterior colagem das peças (*blocks*) resultantes. Esse produto intermediário é conhecido como *blank* e serve de matéria-prima para a confecção das molduras nos mais variados perfis. Cada uma das diversas bitolas geradas na serraria origina uma enorme gama de possibilidades de perfis. O preço de venda é baseado no volume destas bitolas (*rips*) e não no volume da moldura.

Componentes para portas são aquelas madeiras, livres de defeitos, que são utilizadas na confecção de produtos de qualidade superior. Atualmente, toda a produção desta madeira é enviada para o Chile (Andinos) onde as portas são produzidas. Os componentes para portas são produzidos em várias espessuras ($3/4"$, $5/4"$ e $6/4"$), larguras ($2\ 1/2"$, $5"$, $5\ 1/2"$, etc.) e comprimentos ($24\ 1/2"$, $45"$, $7'$, etc.). O volume de produção desta madeira depende basicamente da qualidade das toras e do processo de secagem. A empresa gera atualmente volumes de até $1.200\ m^3$ mensais.

A madeira para móveis e *pallets* é obtida do aproveitamento da parte central da tora. Esta produção é enviada para o México, onde é realizado o processamento e a venda finais. O volume de produção é de aproximadamente $2.000\ m^3$ mensais. Este produto apresenta alguns defeitos próprios da madeira, como nós e bolsas de resina, e de processo, como manchas químicas e pequenos cantos mortos, que não originam produtos com a qualidade necessária para os produtos anteriormente citados.

3.4 MERCADO INTERNO

No mercado nacional, a Terranova Brasil vende aproximadamente 1% de sua produção. Os produtos vendidos são madeira rústica, madeira aplainada e outros subprodutos (serragem e cavaco). Cerca de 50% da serragem e 100% da casca são utilizados em caldeira própria como biomassa, sendo o restante comercializado na região.

4 PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO

Para ilustrar melhor as diretrizes impostas a este estudo, é importante localizar sua necessidade dentro da cadeia do processo produtivo. Deste modo, parte-se da explanação de como se desenvolvem as atividades na empresa para, a seguir, estabelecer propostas de soluções.

4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O fluxo do macro-processo produtivo da empresa está ilustrado na Figura 4. Cada processo é descrito a seguir.

4.1.1 Colheita Florestal

A Terranova Brasil possui cerca de 8.000 hectares de florestas de reflorestamento na região do planalto norte de Santa Catarina, mesma localização de seu parque fabril. Todas essas florestas são inventariadas, ou seja, o departamento florestal possui dados precisos com relação às espécies plantadas, idade das árvores, quantidade por hectare, distribuição diamétrica dos talhões, etc. Em outras palavras, é de conhecimento da empresa o que efetivamente se pode esperar de cada área plantada no momento da colheita.

A colheita compreende várias atividades, conforme ilustrado na Figura 5.

Primeiramente as áreas de floresta são mapeadas e inventariadas. Neste processo é levantada a principal variável de nosso modelo de planejamento em serraria: a distribuição diamétrica dos talhões de colheita. Para cada hectare mapeado, tem-se uma previsão de quantidade de toras e volume por classe diamétrica. Essa previsão é entregue ao setor de serraria antes que o período de colheita seja iniciado. Na Figura 6 é apresentado um exemplo de modelo de distribuição diamétrica; no gráfico, o eixo horizontal representa as classes diamétricas das toras, e os eixos verticais representam volume e percentual de volume das áreas consideradas.

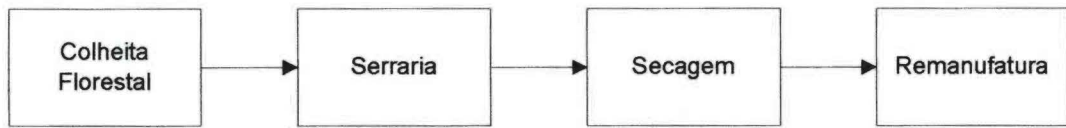


FIGURA 4 – FLUXO DO MACRO-PROCESSO PRODUTIVO DA TERRANOVA BRASIL

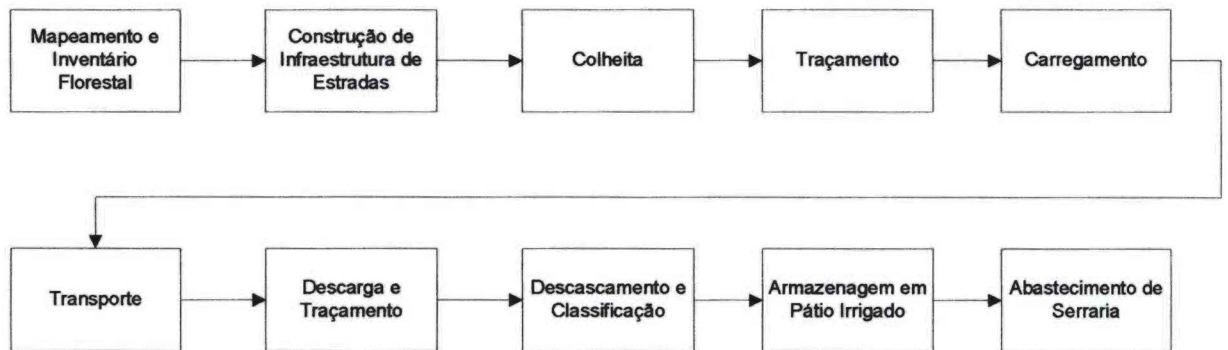


FIGURA 5 – FLUXOGRAMA: COLHEITA FLORESTAL

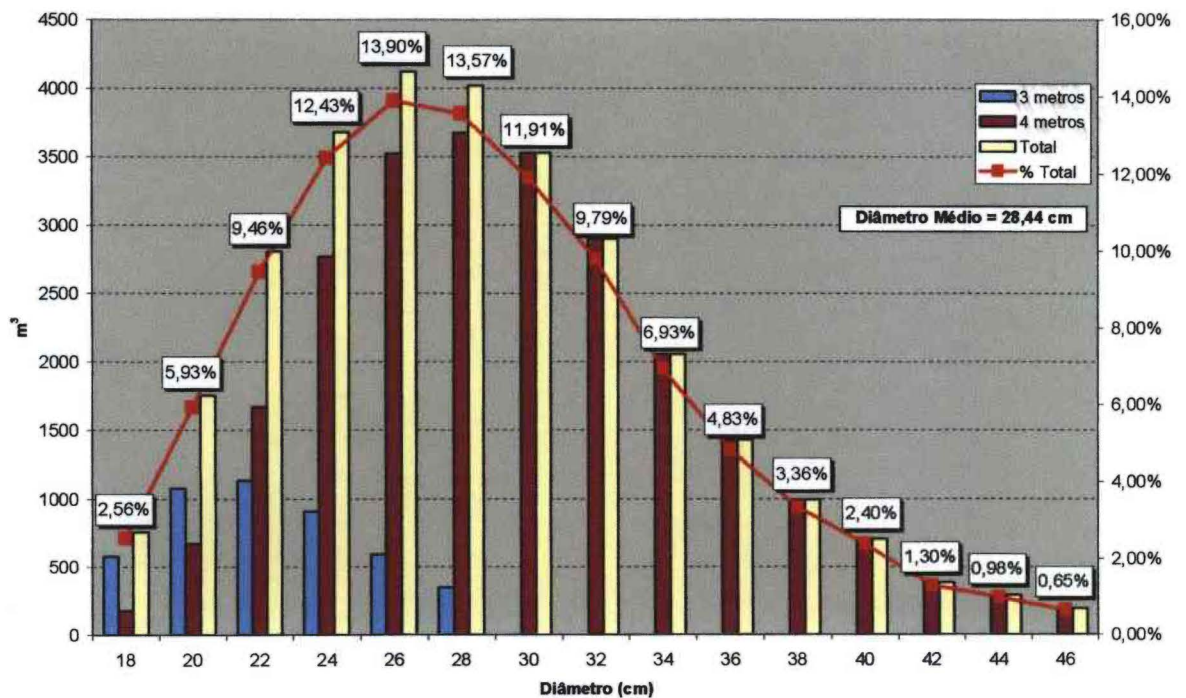


FIGURA 6 – EXEMPLO DE GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Aqui cabe uma observação com relação à maneira como se classificam as toras. A Terranova Brasil optou por adotar a norma japonesa – JAS – em seu processo fabril. De acordo com esta norma, as toras são sempre classificadas em diâmetro de 2 em 2 centímetros e, no comprimento, de 20 em 20 cm. O diâmetro considerado é o da ponta fina da tora e a cubagem é obtida através da fórmula:

$$V = \frac{D^2}{10.000} \times C$$

onde: V = volume em m^3 ;
 D = diâmetro da ponta fina em cm;
 C = comprimento da tora em m.

Por exemplo, para uma tora de diâmetro 28 cm em 4 metros, ilustrada na Figura 7, tem-se:

$$V = \frac{28^2}{10.000} \times 4,00 = 0,3136 m^3$$

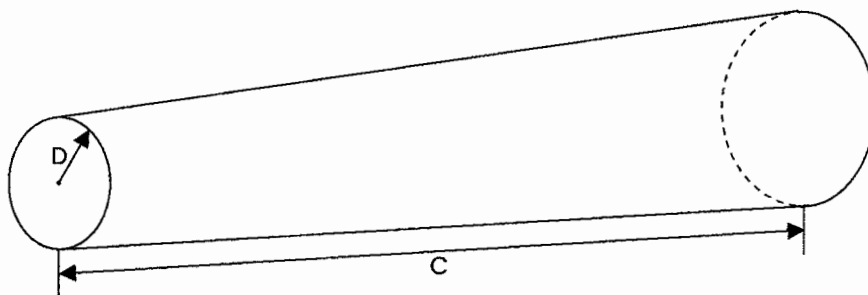


FIGURA 7 – EXEMPLO DE TORA

Uma vez definidos os talhões, é necessário preparar a infra-estrutura para criar condições de executar a colheita, como, por exemplo, a construção de estradas e pontes para o trânsito das máquinas. Já que todo o transporte é feito com o uso de caminhões, este é um item importante a ser considerado, uma vez que o fluxo produtivo não pode ser perturbado por condições climáticas adversas, que poderiam prejudicar o transporte. Quanto melhor a infra-estrutura, mais assegurada estará a entrega de matéria-prima ao parque fabril.

Ainda na floresta é feito o traçamento inicial da tora, considerando os comprimentos passíveis de utilização no processo e a otimização destes. São trabalhadas combinações dos seguintes comprimentos:

- 3,12 e 4,12 m, utilizados na serraria interna;
- 1,30; 1,80 e 2,55 m, utilizados em serrarias externas para produção de insumos como tabicos e travessas.

Assim, podem-se ter toras de diversos comprimentos, como por exemplo 12,36 m (4,12 + 4,12 + 4,12 m); 9,36 m (3,12 + 3,12 + 3,12 m); 10,79 m (2,55 + 4,12 + 4,12 m), e assim por diante.

As toras colhidas são encaminhadas ao parque fabril, onde um segundo traçamento é realizado para obter os comprimentos realmente processados pela serraria. Como foi citado anteriormente, pela norma JAS somente são processados comprimentos múltiplos de 20 cm. Porém, as toras são traçadas com uma sobremedida, a fim de compensar variações no corte da moto-serra. Essa é a justificativa para o uso de comprimentos de 3,12 e 4,12 m ao invés de 3 e 4 m, respectivamente.

Uma vez traçadas nestes comprimentos, as toras são descascadas e classificadas por classe diamétrica. Os demais comprimentos são aproveitados para outros produtos em serrarias terceirizadas, uma vez que seu processamento interno não é economicamente viável. As toras são separadas em pilhas por classe e comprimento, e dispostas em um pátio irrigado. A irrigação das toras é necessária para evitar o desenvolvimento de fungos que comprometem a qualidade do produto final, já que a matéria-prima, não entrando imediatamente na serraria, é armazenada neste estoque intermediário por até duas semanas.

4.1.2 Serraria

Na serraria são processadas as toras a fim de obter as bitolas necessárias para o produto final. As serrarias em geral diferem pela maneira como a madeira é processada. Dependendo da qualidade e aproveitamento desejados, têm-se configurações de máquinas específicas. No caso da Terranova Brasil, tem-se uma serraria automatizada e flexível, com várias possibilidades de esquemas de corte. Na Figura 8 é ilustrado o fluxo interno da madeira na serraria estudada, e na Tabela 5 é apresentada uma breve descrição das etapas do processo de serraria.

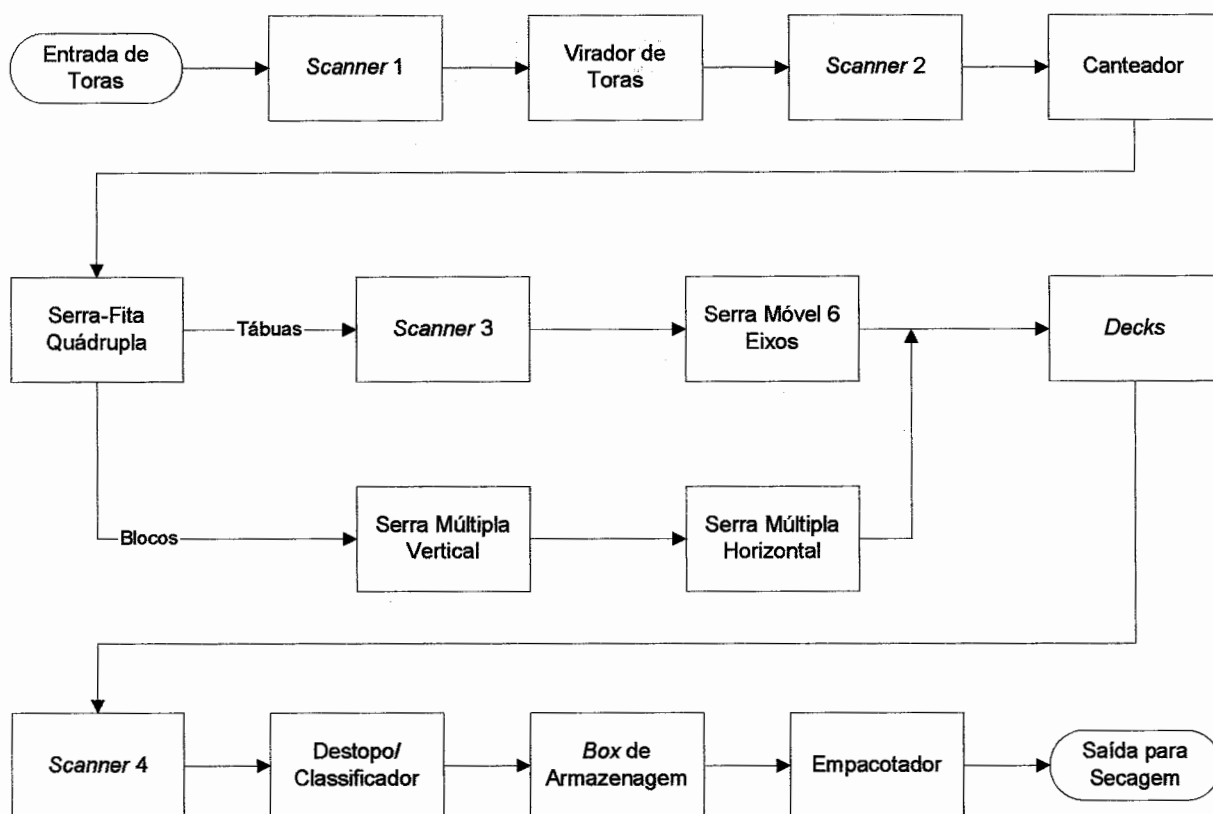


FIGURA 8 – FLUXOGRAMA DE PROCESSO DA SERRARIA DA TERRANOVA BRASIL

Uma serraria ajusta suas máquinas com base no esquema de corte a ser processado. Este esquema (ou diagrama) de corte nada mais é do que a representação gráfica de como a tora será desdobrada em tábuas ou blocos dentro do processo. Existem vários tipos de esquemas de corte, cada um com uma finalidade específica, e se baseiam na qualidade desejada para as tábuas.

As principais variáveis que determinam qual esquema de corte deve ser utilizado são as seguintes:

- bitolas das tábuas desejadas;
- quantidade de canto-morto admissível;
- posição da medula nas tábuas;
- posição relativa dos anéis de crescimento nas tábuas.

Estes itens são ilustrados na Figura 9.

TABELA 5 - DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE PROCESSO DE SERRARIA

Processo	Descrição
Entrada de Toras	<ul style="list-style-type: none"> • Efetua a unitização das toras
Scanner 1	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Scanner</i> de duas dimensões que lê o perfil e os diâmetros em ambas as pontas da tora; • Recusa toras tortas e de diâmetros não aceitos.
Virador de Toras	<ul style="list-style-type: none"> • Posiciona a tora com a ponta fina no sentido de entrada na serraria, para melhor aproveitamento.
Scanner 2	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Scanner</i> de três dimensões que determina a forma da tora e determina a melhor otimização para corte.
Canteador	<ul style="list-style-type: none"> • Corta os lados da tora, gerando um bloco de forma retangular, melhor direcionável dentro dos demais processos.
Serra-Fita Quádrupla	<ul style="list-style-type: none"> • Desdobra a tora em tábuas e em bloco central.
Scanner 3	<ul style="list-style-type: none"> • Lê os defeitos das tábuas e determina a melhor otimização de corte para elas, com base em volume, qualidade e preço.
Serra Circular Móvel 6 Eixos	<ul style="list-style-type: none"> • Permite perfilar as tábuas em até 6 cortes verticais variáveis.
Serra Múltipla Vertical	<ul style="list-style-type: none"> • Efetua o corte vertical do bloco central da tora de acordo com o diagrama pré-estabelecido.
Serra Múltipla Horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • Efetua o corte horizontal do bloco conforme diagrama.
Decks de Qualidade	<ul style="list-style-type: none"> • Separa as tábuas oriundas dos processos anteriores de acordo com a qualidade.
Scanner 4	<ul style="list-style-type: none"> • Lê as dimensões das tábuas e os defeitos de canto-morto nas bordas.
Destopo/Classificação	<ul style="list-style-type: none"> • Destopa os defeitos de canto-morto determinados pelo <i>scanner</i>. • Separa as tábuas pela sua dimensão e qualidade.
Box de Armazenagem	<ul style="list-style-type: none"> • Mantém as tábuas armazenadas, separadas pela dimensão e qualidade.
Empacotador	<ul style="list-style-type: none"> • Empacota as tábuas, preparando-as para a secagem.

A medula é a região central da tora por onde corre a seiva ou resina; é chamada comumente de “espinha dorsal” da árvore. Os anéis de crescimento são os círculos que aparecem ao se observar um corte transversal do tronco da árvore. Cada anel desses representa um ano na vida da árvore, já que a mesma possui crescimentos diferenciados de acordo com as estações do ano. No verão a árvore cresce mais rapidamente, a madeira fica menos densa e, portanto, mais clara. Já no inverno a árvore armazena energia e, conseqüentemente, cresce menos, ficando o anel mais escuro.

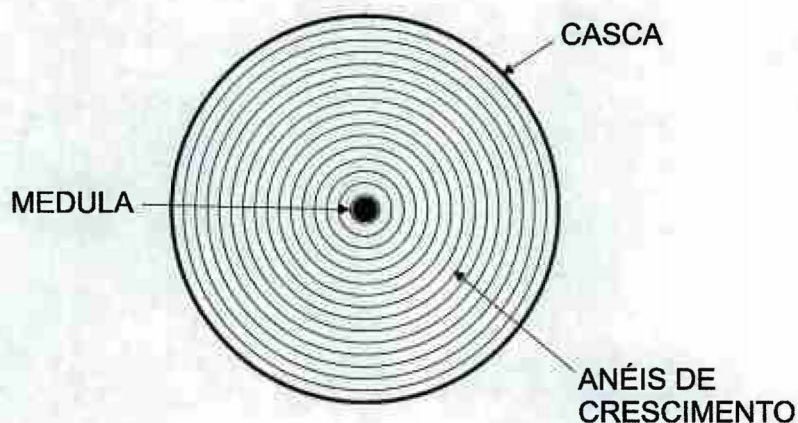


FIGURA 9 – CORTE TRANSVERSAL EM UMA ÁRVORE

A posição dos anéis de crescimento é importante em uma tábua serrada devido ao processo de secagem, uma vez que a madeira menos densa tende a armazenar mais umidade. Assim, dependendo do tipo de secagem utilizado e da maneira como o ar circula em um secador, a evaporação desta umidade pode ser mais ou menos facilitada de acordo com a posição dos anéis. Em geral, a madeira com anéis radiais seca mais facilmente e apresenta menos defeitos que a madeira com anéis tangenciais à largura, conforme ilustrado na Figura 10. A qualidade da secagem também é influenciada pela existência ou não de medula na peça.

Normalmente, visando um melhor aproveitamento da madeira, se permite uma certa quantidade de defeitos na bitola da peça. Estes defeitos são chamados de cantos-mortos; seus valores admissíveis variam de acordo com a qualidade desejada e determinam o tipo de esquema de corte e otimização utilizados.

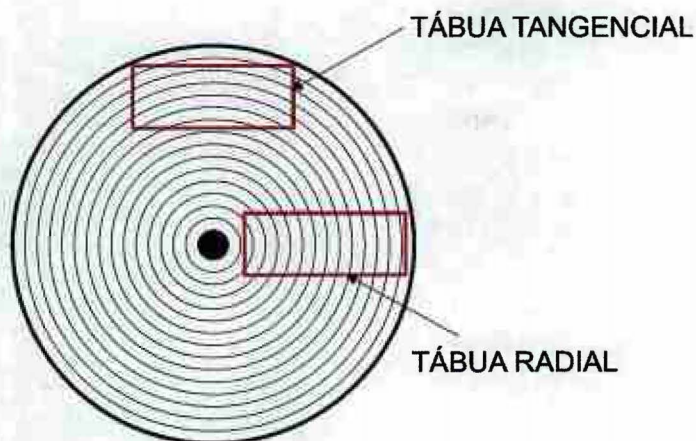


FIGURA 10 – CORTES TANGENCIAIS E RADIAIS NA TORA

O principal item a ser considerado na elaboração de um esquema de corte são as bitolas ou medidas desejadas das tábuas. A venda do produto final é baseada nestas medidas, já que o mercado consumidor não paga a cubagem da moldura e sim da madeira que a originou. As medidas desta madeira são chamadas de *rips*. São vários os *rips* produzidos, cada um com características específicas de qualidade.

A seguir é apresentado um exemplo de esquema de corte, e como o mesmo se comporta no processo de serraria. Para desenhar esse esquema, é utilizado um *software* específico que otimiza as tábuas laterais mediante a determinação de um bloco principal. São levados em conta o diâmetro da tora e a espessura de corte das serras. Na Figura 11 é ilustrado esquema de corte a ser analisado.

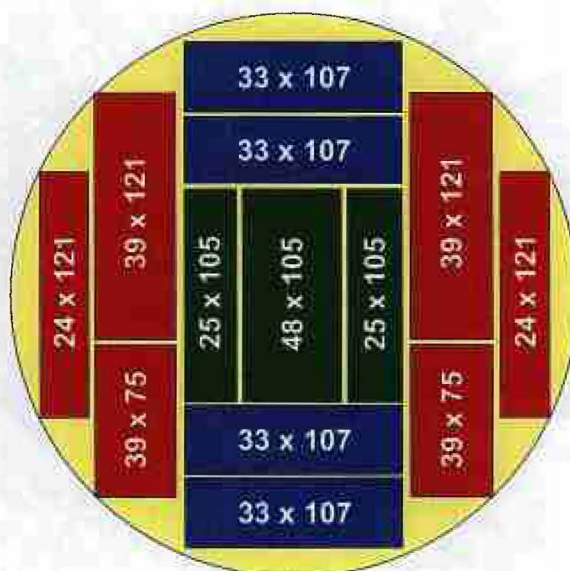


FIGURA 11 – EXEMPLO DE ESQUEMA DE CORTE

O fluxo da tora pelo processo de serraria é ilustrado no Anexo 1. Todas as etapas do processo contam com *scanners*, que levantam as características da madeira na etapa correspondente e direcionam a otimização da mesma. As peças em verde e azul compõem o bloco central e são fixas para todas as toras processadas neste diâmetro e esquema de corte. As tábuas laterais em vermelho são otimizadas automaticamente pelo sistema de modo a se obter o melhor aproveitamento possível da madeira, e variam de tora para tora, fazendo a diferença

no rendimento da matéria-prima. A correta otimização destas tábuas é, portanto, fundamental para avaliar o desempenho de uma serraria.

O canteador executa um desbaste lateral na tora, de modo a deixá-la com a forma retangular, permitindo assim um melhor alinhamento nos processos posteriores. Os resíduos deste processo (cavaco, maravalha e serragem) são separados por tamanho mediante a utilização de uma peneira vibratória, e direcionados como combustível para a caldeira de biomassa ou para venda.

Em seguida, a serra-fita efetua o desdobramento da tora em bloco central e tábuas laterais, sendo possíveis quatro cortes por passagem na máquina. Sendo necessários mais cortes como, por exemplo, para toras de diâmetros maiores, a serra-fita utiliza um sistema de retorno para os blocos.

As partes resultantes desta etapa seguem para processos diferentes. As tábuas mostradas em vermelho são encaminhadas para um moderno *scanner*, que identifica todos os defeitos presentes (canto-morto, nós, manchas, etc.) e envia estas informações para um sistema de otimização. Com base na qualidade desejada e, conseqüentemente, no preço e volume, este sistema otimiza o corte das tábuas para os *rips* finais do processo através de um conjunto de serras circulares móveis.

Os blocos centrais seguem para um conjunto de serra circular múltipla vertical e horizontal. As peças mostradas em azul no Anexo 1 são desdobradas em uma serra vertical e, por possuírem características físicas semelhantes às dos *rips* otimizados pelas serras móveis, seguem pelo mesmo caminho. Já as peças em verde são desdobradas em uma serra horizontal e, por se tratarem da região central da tora, são direcionadas para um outro *deck* de armazenagem.

Em seguida, os diversos *rips* gerados passam por mais um *scanner*, que faz a leitura das medidas e dos defeitos no comprimento. Caso o canto-morto presente em uma tábua seja excessivo, o sistema permite o corte transversal da tábua na altura do defeito, através de um conjunto de serras circulares móveis. Os *rips* são então direcionados aos boxes de armazenagem, separados por bitola e qualidade.

A última etapa do processo de serraria é o empacotamento da madeira. São feitos pacotes com 1,20 ou 1,80 m de largura e 1,50 m de altura, com a utilização de separadores (tabicos). A utilização de tabicos é necessária para o processo de secagem, pois as tábuas devem ficar separadas uma das outras para a evaporação da água presente.

4.1.3 Secagem

O processo de secagem visa reduzir o conteúdo de água das tábuas resultantes do processo de serraria a níveis que impeçam o desenvolvimento e proliferação de fungos, o que prejudica a qualidade do produto final. A Terranova Brasil possui 13 câmaras de secagem com capacidade média unitária de 120 m³ de madeira. É utilizado o vapor super-aquecido para aquecimento das câmaras, proveniente de uma caldeira com fornecimento médio de 35.000 toneladas de vapor por hora com 25 kgf/m² de pressão. O tempo médio de permanência da madeira neste processo é de 100 horas.

4.1.4 Remanufatura

A remanufatura é responsável pela produção e despacho dos produtos finais, sejam eles molduras ou madeira bruta. O fluxograma deste processo é apresentado na Figura 12.

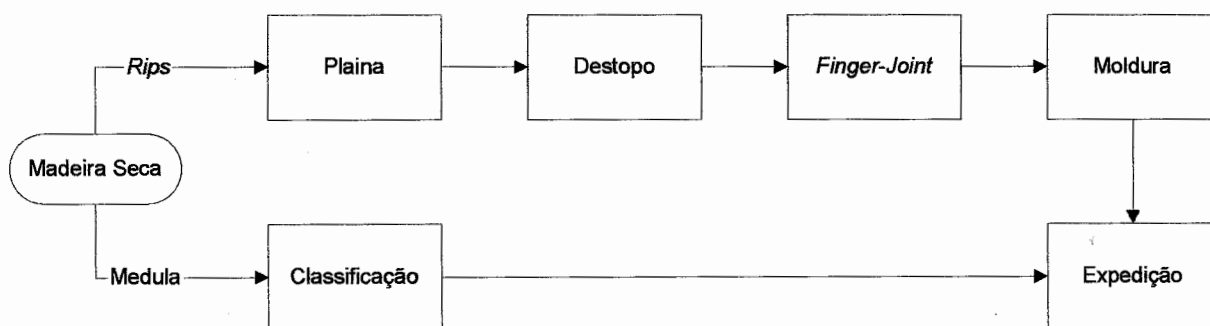


FIGURA 12 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE REMANUFATURA

A primeira etapa é o aplainamento dos *rips* já secos, dando o acabamento necessário para os processos posteriores. Em seguida as tábuas são encaminhadas para o destopo, onde os defeitos são identificados, cortados e classificados manualmente, originando *blocks* nos *rips* de venda.

Estes *blocks* são classificados de acordo com a qualidade e são então direcionados para produtos específicos, sendo colados uns aos outros através de um processo denominado *finger-joint*, assim dando origem a uma nova tábua nos

comprimentos de venda, denominada *blank*. Na Figura 13 é mostrado o processo de *finger-joint*.

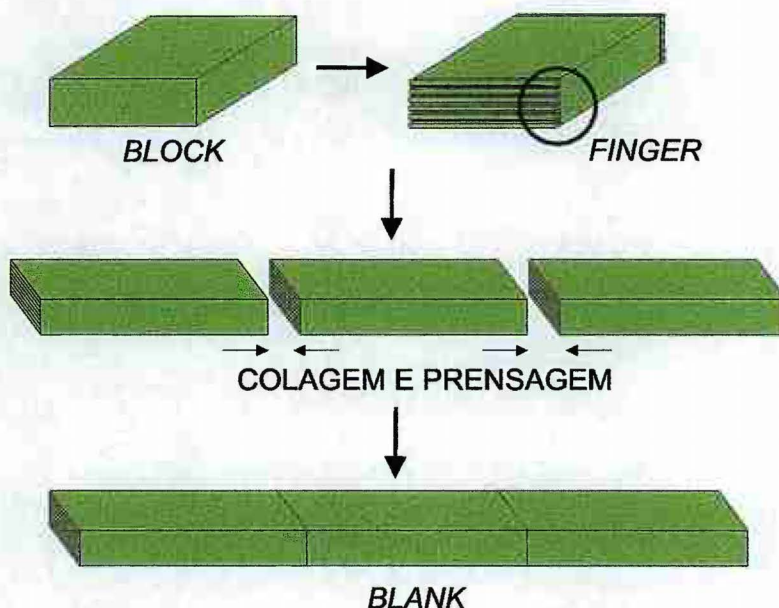


FIGURA 13 – PROCESSO DE *FINGER-JOINT*

O *blank* possui as medidas finais comercializadas e, de acordo com os pedidos dos clientes, dá origem a uma grande variedade de formatos de molduras, obtidas mediante o aplainamento dos *blanks*. Na Figura 14 são ilustrados alguns perfis de molduras comuns no mercado norte-americano.

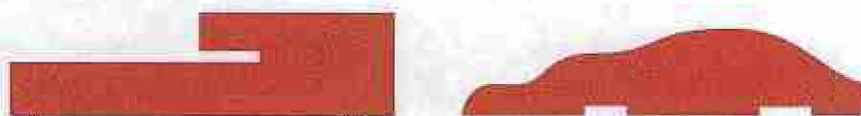


FIGURA 14 – EXEMPLOS DE MOLDURAS

A maior parte da madeira com medula é classificada separadamente por não possuir a qualidade necessária para molduras, sendo despachada para o México para confecção de móveis de baixo valor agregado e *pallets*.

4.2 DEFINIÇÃO DAS NECESSIDADES

A estreita relação entre as etapas do processo produtivo denota que o correto planejamento das capacidades é de vital importância para que as atividades transcorram sem dificuldades. Uma característica deste tipo de empresa é concentrar suas operações sempre contra o estoque. Entretanto, além do elevado custo de inventário associado ao aumento dos custos de produção, um adequado tempo de resposta às variações do mercado é imprescindível na conquista de novos clientes.

Desta forma, não se admite trabalhar com estoques absurdos, ainda mais considerando-se que o produto em estoque pode ou não ser negociado, e a necessidade pode ser, eventualmente, alterada. É imprescindível, portanto, que a utilização dos recursos esteja em perfeita sintonia com as necessidades do cliente final.

O processo de venda da Terranova Brasil é ilustrado na Figura 15. Um volume de *rips* é ofertado aos vendedores nos Estados Unidos, com uma antecedência mínima de 45 dias antes do início da produção. Estes, por sua vez, devem negociar junto aos clientes estes *rips*, independentemente das molduras a serem produzidas. Desta maneira, quando do início da produção, conhece-se com clareza quais são as necessidades de produção para a serraria.

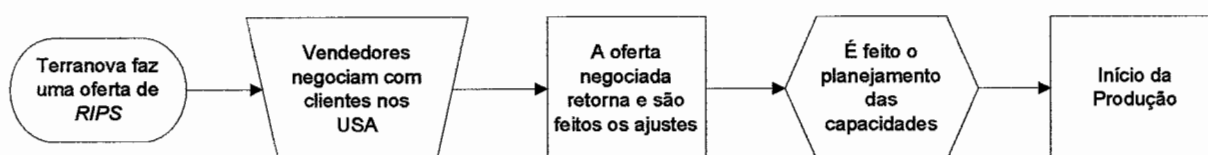


FIGURA 15 – PROCESSO DE VENDA DA TERRANOVA BRASIL

Estas ofertas mensais são divididas em dois períodos no mês, com volumes iguais ou não. Assim, tem-se uma necessidade a ser despachada no dia 15 e outra no dia 30 de cada mês. Devido aos tempos de produção de cada uma das etapas, a produção em serraria deve ser iniciada quatro semanas antes do prazo de despacho, encerrando no mais tardar com uma antecedência de duas semanas.

Essa diferença se deve principalmente ao tempo de secagem da madeira, que pode chegar a quatro dias. Como cada uma das câmaras dos secadores deve ser carregada com uma quantidade mínima de *rips*, por vezes deve-se aguardar o acúmulo de volume suficiente para iniciar o processo. Isso cria mais um atraso ao processo, que deve ser considerado no planejamento das capacidades.

Antes de se começar este estudo, o planejamento de produção da serraria era totalmente empírico, ou seja, de posse dos volumes de *rips* ofertados dava-se início a produção, utilizando-se as toras de diâmetros constantes no pátio, alterando-se os esquemas de corte à medida que as necessidades se alteravam. Isto era possível em virtude da oferta de *rips* ser, em um primeiro momento, padronizada, com volumes constantes, aliado a um volume de produção baixo (cerca de 12.000 m³ de madeira serrada ao mês). Esse mecanismo gerava algumas situações de atraso, pois por vezes um determinado diâmetro era utilizado para produzir um determinado *rip* em prioridade a outro, gerando um déficit temporário no pátio de toras. Em outras palavras, era necessário aguardar a geração de volume de uma determinada tora no pátio para se dar seguimento à produção dos *rips* deixados em segundo plano. Entretanto, as mudanças na realidade do mercado de molduras fizeram com que não fosse mais possível atuar desta forma.

A mudança notável foi o incremento nos volumes de venda, visando compensar a queda observada no preço das molduras no mercado norte-americano. A queda no preço se deveu primordialmente ao fato de ter-se vários fornecedores entrantes no mercado nos últimos dois anos, oriundos principalmente da China e África do Sul. Com isso, a produção de serraria subiu para 18.000 m³ ao mês, e passou a não admitir mais erros de programação na utilização dos diâmetros.

Outro fator agravante foram as restrições de fornecimento de matéria-prima pela área florestal, devido a limitações por quebra e vida útil no maquinário de colheita. Assim, os volumes recebidos deveriam ser aproveitados ao máximo, para evitar o desabastecimento dos processos posteriores.

A fim de otimizar a utilização de matéria-prima, iniciou-se o estudo de quais seriam as possibilidades para se aumentar o rendimento e a produtividade sem incrementar o maquinário florestal e industrial. Pelo que foi mostrado até este momento, fica evidente que o correto planejamento das capacidades é um diferencial de produtividade e rendimento. Para tanto, é necessário estimar os

volumes passíveis de produção para os esquemas de corte e diâmetros de toras existentes. Assim sendo, este estudo concentra-se em uma otimização da produção da serraria, descrito a seguir.

4.3 SOLUÇÃO PROPOSTA

Qualquer problema de Programação Linear deve iniciar-se pela formulação clara do problema e da análise dos dados disponíveis para construção do modelo matemático. O objetivo deste estudo é desenvolver uma forma de otimizar a produção de uma serraria com base nas características da matéria-prima e nas necessidades de venda. As três variáveis a serem consideradas no planejamento da serraria são as seguintes:

- distribuição diamétrica das toras a serem recebidas e existentes em estoque;
- oferta de *rips* para venda;
- esquemas de corte.

Com base nessas informações, é possível desenvolver um sistema simples conforme ilustrado no Anexo 2. A remanufatura faz a oferta de acordo com a capacidade de maquinário e mão-de-obra, negociando com a área comercial em conjunto com os vendedores e clientes nos Estados Unidos. Após esta negociação, é formalizado um pedido de *rips* na unidade de medida pés-lineares, que serão posteriormente processados e transformados em molduras.

Este pedido é analisado e convertido em metros cúbicos de madeira verde, sendo então enviado à serraria. Esta, por sua vez, recebe do setor florestal uma previsão dos volumes de matéria-prima a serem entregues no período e define quais os esquemas de corte a serem processados. A madeira serrada segue para secagem e remanufatura, onde será processada e despachada como produto final.

Da correta análise dos dados citados acima dependerá o atendimento do pedido em tempo hábil.

A seguir são analisadas em detalhes as variáveis coletadas para o planejamento de serraria.

4.3.1 Análise da Distribuição Diamétrica das Toras

Por se tratar da única variável capaz de introduzir erros ao modelo de otimização ainda na fase inicial, é necessário, antes de mais nada, avaliar se os inventários das áreas de colheita correspondem aos volumes realmente entregues ao pátio de toras.

Um exemplo de relatório de colheita é ilustrado no Anexo 3. São mostrados os volumes e percentuais de cada diâmetro de tora a ser entregue, assim como uma curva representativa destes valores. Também é ilustrado o percentual de misturas de espécies de *Pinus*, não relevantes a este estudo.

A validação desta distribuição se deu mediante a análise prévia dos valores percentuais de entrega das toras nos três meses anteriores ao início da otimização. Nas Tabelas 6, 7 e 8, são mostrados os valores previstos e reais para os meses de Janeiro, Fevereiro e Março de 2002.

De posse destas tabelas, levantaram-se os gráficos correspondentes, de modo a ser possível comparar visualmente os valores reais com os previstos. Como se pode observar nas Figuras 16, 17 e 18, existem variações grandes nos diâmetros menores mas, de uma forma geral, as curvas são semelhantes. Entretanto, somente a análise dos gráficos não é suficiente para validação das informações.

TABELA 6 - DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PREVISTA E REAL PARA JANEIRO DE 2002

Diâmetro	Previsto		Real	
	m ³	%	m ³	%
18	2153,15	6,84%	672,29	2,26%
20	1202,35	3,82%	1403,80	4,72%
22	2436,27	7,74%	2069,50	6,96%
24	2515,60	8,00%	2640,44	8,88%
26	3382,36	10,75%	3142,16	10,57%
28	3568,04	11,34%	3481,21	11,71%
30	3675,84	11,69%	3515,76	11,83%
32	3086,14	9,81%	3185,70	10,72%
34	2893,39	9,20%	2768,77	9,31%
36	2466,54	7,84%	2226,88	7,49%
38	1561,33	4,96%	1627,07	5,47%
40	1314,53	4,18%	1162,24	3,91%
42	465,01	1,48%	836,61	2,81%
44	736,69	2,34%	991,49	3,34%
Total	31457,25	100,00%	29723,91	100,00%

TABELA 7 - DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PREVISTA E REAL PARA DE FEVEREIRO DE 2002

Diâmetro	Previsto		Real	
	m ³	%	m ³	%
18	1598,70	4,83%	749,35	2,25%
20	1793,97	5,42%	1591,44	4,78%
22	2729,09	8,24%	2394,78	7,19%
24	3383,00	10,21%	3137,95	9,43%
26	3959,49	11,95%	3786,43	11,37%
28	4093,30	12,36%	4060,96	12,20%
30	4120,41	12,44%	4064,76	12,21%
32	3193,53	9,64%	3651,05	10,97%
34	2834,74	8,56%	3021,48	9,08%
36	2430,68	7,34%	2363,63	7,10%
38	1201,24	3,63%	1748,45	5,25%
40	821,39	2,48%	1148,80	3,45%
42	369,95	1,12%	748,36	2,25%
44	591,11	1,78%	822,76	2,47%
Total	33120,60	100,00%	33290,20	100,00%

TABELA 8 - DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PREVISTA E REAL PARA DE MARÇO DE 2002

Diâmetro	Previsto		Real	
	m ³	%	m ³	%
18	758,15	2,58%	666,92	2,27%
20	1756,67	5,97%	1716,38	5,85%
22	2804,15	9,53%	2731,36	9,31%
24	3681,49	12,51%	3792,77	12,93%
26	4119,63	14,00%	4069,92	13,88%
28	4020,34	13,66%	3914,25	13,35%
30	3529,21	11,99%	2917,64	9,95%
32	2899,58	9,85%	3249,43	11,08%
34	2053,75	6,98%	2189,12	7,46%
36	1431,79	4,86%	1503,63	5,13%
38	995,39	3,38%	1156,12	3,94%
40	710,49	2,41%	823,43	2,81%
42	385,99	1,31%	366,04	1,25%
44	289,63	0,98%	232,26	0,79%
Total	29436,26	100,00%	29329,28	100,00%

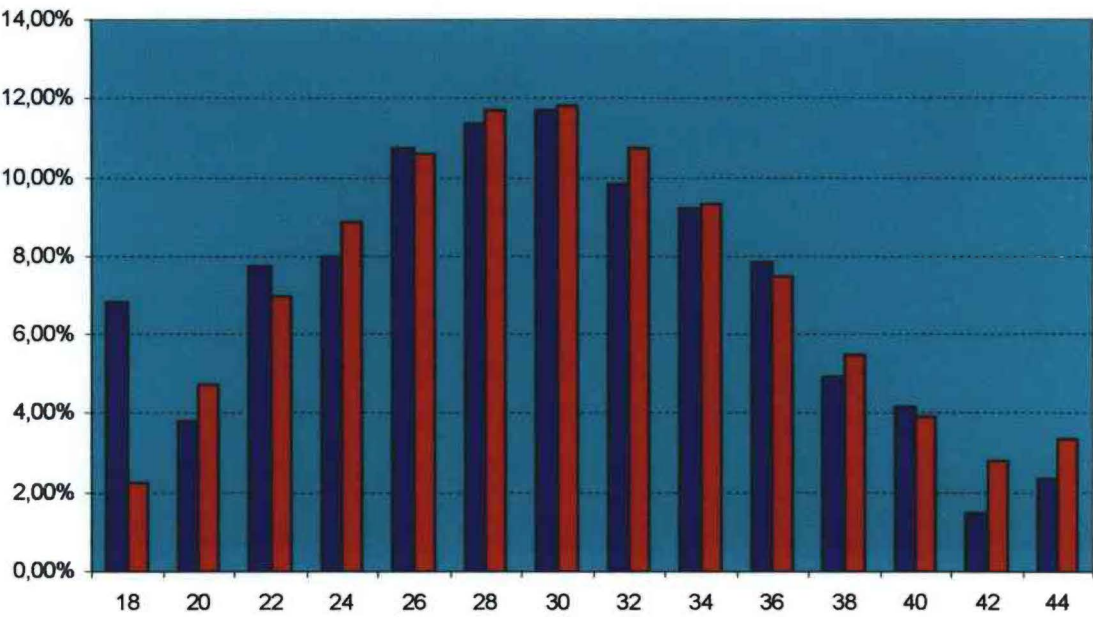


FIGURA 16 – GRÁFICO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA JANEIRO DE 2002

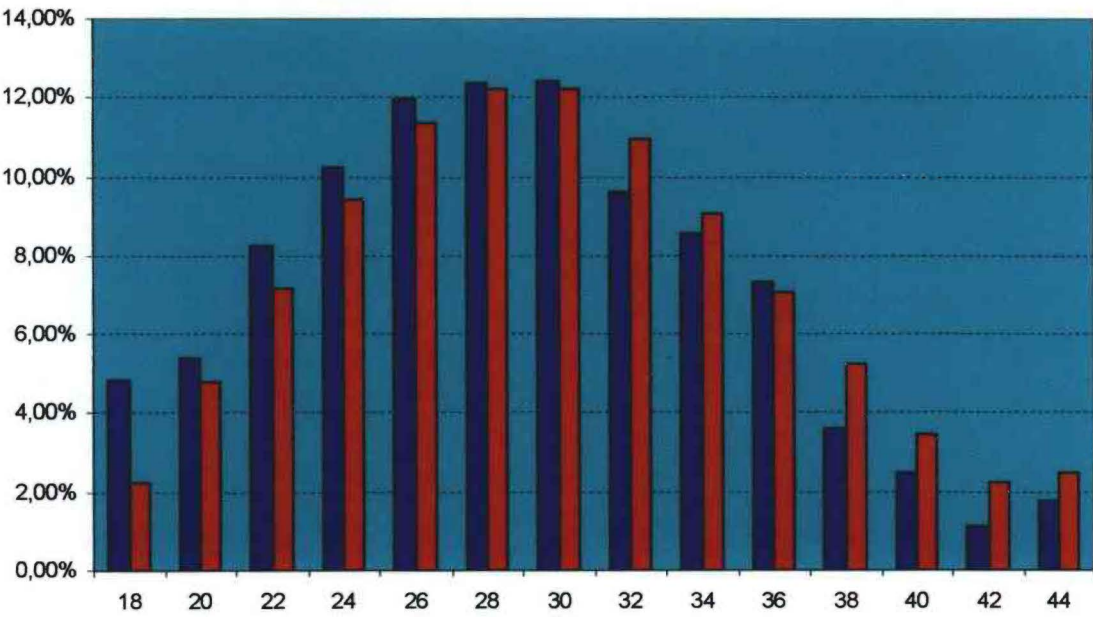


FIGURA 17 – GRÁFICO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA FEVEREIRO DE 2002

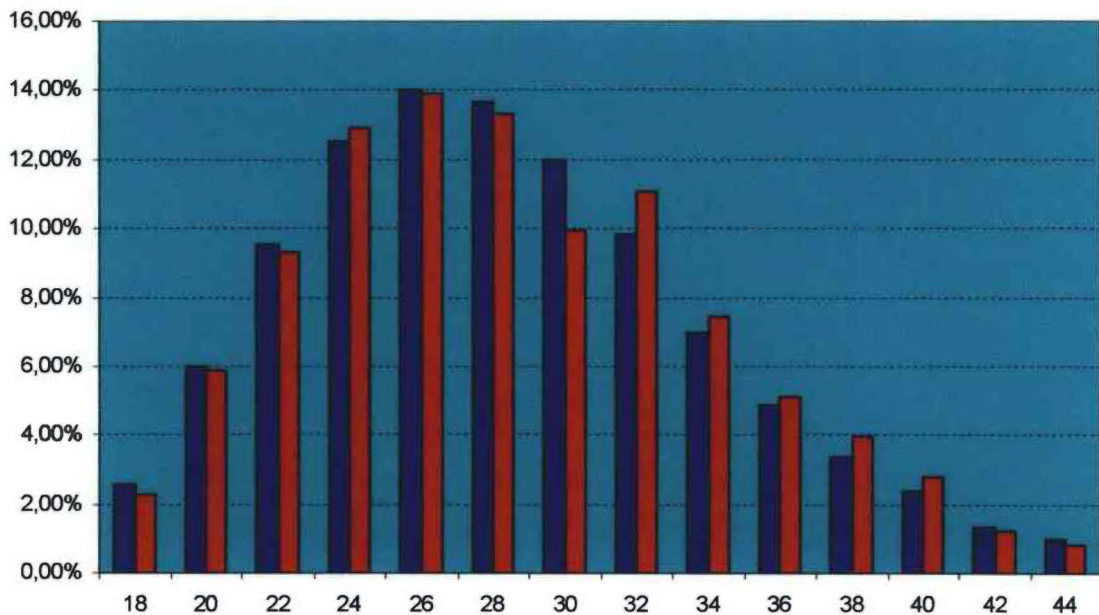


FIGURA 18 – GRÁFICO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA MARÇO DE 2002

Para que seja possível determinar uma maneira de se validar os dados de distribuição diamétrica fornecidos pelo setor florestal, optou-se por calcular a correlação entre os valores reais e previstos, através da fórmula:

$$\rho_{x,y} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

onde: $-1 \leq \rho_{x,y} \leq +1$

σ_x e σ_y são os desvios-padrão de x e y, respectivamente.

Os valores obtidos de correlação para os três meses analisados são ilustrados na Tabela 9. Convenciona-se que um valor superior a 0,90 indica a consistência dos dados e, portanto, que as amostras de distribuição diamétrica podem ser consideradas como variáveis válidas do processo. O erro embutido ao sistema de otimização será tanto maior quanto menor for a correlação entre os valores previstos e reais. Assim, é importante avaliar este dado ao final do período de produção para se ter uma idéia de quão precisa foi a otimização.

TABELA 9 - VALORES DE CORRELAÇÃO OBTIDOS PARA AS AMOSTRAS ANALISADAS

Mês	Coeficiente de Correlação
Janeiro/2002	0,907
Fevereiro/2002	0,959
Março/2002	0,988

4.3.2 Análise do Pedido de *Rips*

A forma em que as outras variáveis são trabalhadas dentro do processo de otimização visa a obtenção de um planejamento que tenha como resultado uma produção equivalente ao pedido de *rips*.

A oferta de *rips* deve ser consistente com a distribuição diamétrica padrão das florestas. Por exemplo, usualmente bitolas largas, acima de 135 mm, são obtidas mediante a utilização de toras mais grossas. Caso se oferte ao mercado uma distribuição de *rips* com volume muito elevado deste tipo de bitola, pode ocorrer a falta de toras adequadas para sua produção. Assim, a oferta deve levar em conta essa limitação.

4.3.3 Análise dos Esquemas de Corte

Ao se analisar um esquema de corte, deve-se levar em conta dois itens principais:

- o rendimento da matéria-prima e;
- a produtividade dentro do processo produtivo.

Estes dois itens são as variáveis utilizadas para mensurar a efetividade das ações tomadas dentro do processo produtivo. De nada adianta ter-se um incremento considerável na produtividade se o rendimento cai e, em consequência, é desperdiçada mais matéria-prima na produção. Do mesmo modo, um elevado rendimento não é interessante se o pedido de produção não for cumprido. Neste estudo, estes itens serão considerados como índices de avaliação dos resultados da otimização.

O rendimento é afetado principalmente pelo aproveitamento da tora no desdobramento em tábuas. É interessante a análise de um exemplo considerando o esquema de corte ilustrado na Figura 11: calcula-se o rendimento dividindo a soma dos volumes das tábuas do bloco central, obtidas mediante a otimização das laterais pelo volume JAS da tora de diâmetro 28. O Anexo 4 mostra os cálculos relativos ao esquema de corte analisado. O volume das peças totaliza 0,1820 m³ e o volume da tora é de 0,3136 m³, resultando em um rendimento teórico de 58,0%.

Este valor tem uma forte relação de dependência com a maneira como o corte das tábuas laterais é otimizado. Entretanto, salvo exceções esporádicas devido à qualidade das toras, este pode ser considerado como um rendimento mínimo do diagrama de corte; uma melhor otimização resultará em um rendimento mais elevado.

Como não é possível precisar as bitolas resultantes da otimização, são consideradas as obtidas mediante a otimização no diâmetro menor da tora. Valores superiores serão considerados como ganhos de rendimento e, portanto, relevados quando da utilização do modelo. Observa-se no Anexo 4 a separação das peças por qualidade: as peças identificadas como *finger* e medula serão utilizadas posteriormente para confecção de molduras, e são diferenciadas somente pela espessura; a medula não é destinada ao processo de molduras, sendo comercializada separadamente.

A produtividade é afetada basicamente pela maneira como a tora se comporta dentro do processo de serraria. Alguns exemplos de como este comportamento influi no processo são citados a seguir:

- A tora que necessita passar duas ou mais vezes pela serra-quádrupla apresenta uma menor produtividade, em comparação com uma tora que passa somente uma vez;
- A tora que gera quatro tábuas laterais na serra circular móvel é menos produtiva que aquela que gera somente duas;
- Um bloco direcionado para a serra circular múltipla com uma quantidade de cortes superior a quatro é menos produtivo do que aqueles que possuem menos cortes.

Com base nestas considerações, devem-se priorizar sempre esquemas de corte que conciliem rendimento e produtividade sem afetar o cumprimento dos pedidos de produção.

Utilizando-se o *software Microsoft Excel*, confeccionou-se a planilha eletrônica “Projeção de Produção”, apresentada no Anexo 5. Por se tratar de um exemplo, considerou-se somente dois diâmetros de tora e alguns *rips* de produção a fim de facilitar a visualização. Os dados que devem ser inseridos na planilha estão realçados pela cor amarela.

Considera-se uma distribuição diamétrica de 45% em diâmetro 24 e 55% em diâmetro 26, em um volume total de entrega de 2.181 m³. Com isso, estima-se o número de toras em cada diâmetro e, conseqüentemente, a quantidade de peças a serem produzidas em cada esquema. A distribuição diamétrica é uma variável restritiva a ser considerada, uma vez que seus valores devem respeitar o que foi previsto em inventário.

Na coluna “Bitolas” estão descritos os *rips* resultantes de cada diâmetro e esquema de corte, assim como a sua respectiva qualidade.

A coluna “Peso” representa o percentual de cada esquema de corte em cada diâmetro que deverá ser produzido para se cumprir o pedido. As alterações dos valores desta coluna representam variações nos esquemas de corte durante a produção e também na otimização dos resultados, sendo portanto a variável de decisão do processo.

A última coluna mostra o rendimento previsto de cada esquema de corte, o rendimento para cada diâmetro e o rendimento global resultante, neste caso, 52,5%. Esta é a função objetivo do processo de otimização, pois se os resultados obtidos indicarem um rendimento muito baixo, deve-se efetuar novas rodadas de otimização com pesos diferentes de modo a se obter rendimentos mais elevados.

Finalmente, o pedido de madeira é informado na planilha “Distribuição Ideal de Madeira para *Rips*”, também apresentada no Anexo 5. É dada entrada nas necessidades e os valores obtidos para cada uma das bitolas é indicado como “Produção Projetada”. O pedido é, portanto, uma outra variável restritiva a ser considerada.

4.3.4 Validação Manual do Planejamento

De modo a testar o modelo, efetuaram-se testes manuais de otimização na planilha com todos os diâmetros e um pedido real, variando-se os pesos relativos de cada esquema de corte, procurando ajustar os volumes projetados às necessidades de produção. Os esquemas de corte que geravam madeira desnecessária ao pedido receberam peso zero. Com isso, foi possível obter as quantidades de toras a serem processadas em cada esquema de corte com precisão. Os valores obtidos para cada bitola devem ser iguais ou pouco superiores ao pedido, de modo a otimizar ao máximo o processo.

Constitui-se de um trabalho exaustivo, uma vez que são 240 esquemas de corte a serem considerados. Assim, a variação manual dos valores se mostrou válida, porém inviável. Partiu-se então para a otimização automatizada dos pesos relativos a cada esquema de corte.

4.3.5 Solução Automatizada

O modelo foi desenvolvido com o objetivo de apoiar o planejamento de curto prazo da fabricação. Sua utilização tinha como requisitos ser simples, de fácil compreensão, não exigindo dos seus usuários conhecimentos profundos de nenhuma técnica ou linguagem computacional.

O modelo de produção adotado é um PPL cuja função objetivo é a maximização do rendimento da madeira na serraria. As variáveis de decisão referem-se à quantidade a ser produzida de cada produto, mediante a variação das quantidades produzidas em cada esquema de corte. São consideradas 14 classes diamétricas e 46 *rips* possíveis, perfazendo mais de 240 esquemas de corte. As principais restrições envolvidas são as restrições de capacidade de produção da floresta, mediante a análise da distribuição diamétrica, e as restrições de demanda de produto final, que devem ser totalmente atendidas.

Na automatização do processo de otimização, utilizou-se uma ferramenta do *Microsoft Excel* chamada *Solver*. O *Solver* faz parte de um conjunto de programas algumas vezes chamado de ferramentas de análise hipotética. Com ele é possível localizar um valor ideal para uma fórmula em uma célula (chamada de célula de destino) de uma planilha, trabalhando com um grupo de células relacionadas direta

ou indiretamente com a fórmula na célula de destino. O *Solver* ajusta os valores nas células variáveis especificadas (chamadas de células ajustáveis) para produzir o resultado especificado na fórmula da célula de destino. Pode-se aplicar restrições para limitar os valores que o *Solver* usará no modelo, e essas restrições podem se referir a outras células que afetem a fórmula da célula de destino. O *Microsoft Excel Solver* usa o Método *Simplex* com limites sobre as variáveis e o Método de Desvio e Limite, implementado por John Watson e Dan Fylstra, da *Frontline Systems, Inc.* para resolução de problemas lineares e de inteiros.

No caso deste estudo, a célula destino é a função objetivo rendimento e as células ajustáveis são os pesos para cada esquema de corte – as variáveis de decisão adotadas. As variáveis restritivas adotadas foram o atendimento do pedido de produção e a impossibilidade de a soma dos pesos de cada esquema de corte ser superior a 100% em um determinado diâmetro. A Figura 19 ilustra a janela do *Solver* onde são inseridas essas variáveis. Por se tratar de um modelo linear, deve-se informar isto ao sistema. Esta habilitação se encontra na janela “opções” do *Solver*, ilustrada na Figura 20.

A execução do *Solver* em um primeiro momento se mostrou lenta, e os resultados obtidos não foram satisfatórios, sendo necessário refinar mais as variáveis restritivas. Foi necessário determinar os valores máximo e mínimo de uma célula de necessidade pela alteração das células de peso; assim, determinou-se uma variação permissível de mais ou menos 5% para cada volume do pedido.



FIGURA 19 – JANELA DO MICROSOFT EXCEL SOLVER

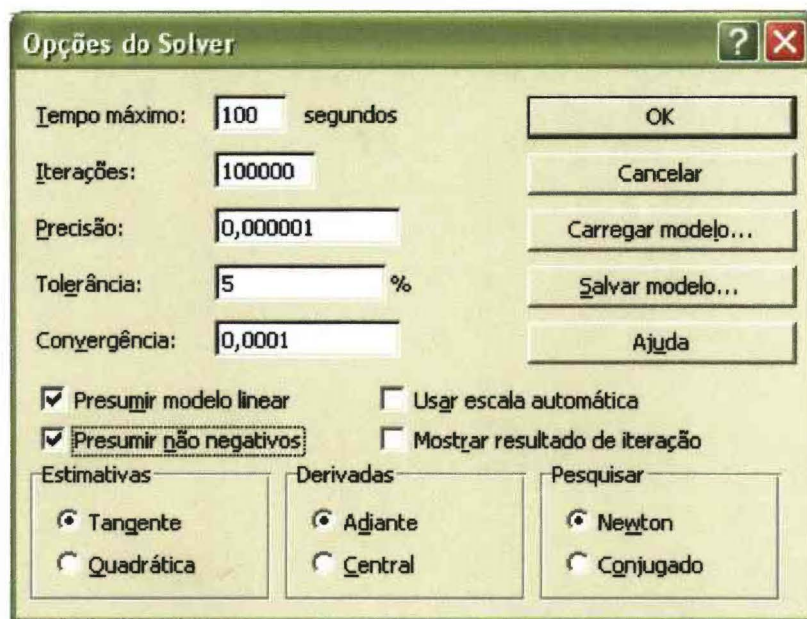


FIGURA 20 – JANELA DE OPÇÕES DO MICROSOFT EXCEL SOLVER

Com isso, os resultados obtidos foram os esperados, com pequenas variações nas quantidades finais, irrelevantes no montante geral de produção. O tempo de otimização é alto, cerca de quatro horas para as condições especificadas. Entretanto, mediante a utilização de computadores mais potentes, é possível reduzir esse tempo, o que não se fez necessário, uma vez que esse item não foi considerado relevante no processo de otimização.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE OBTIDOS

As duas grandezas definidas como itens de avaliação para este estudo de otimização são a produtividade e o rendimento resultantes na serraria. Na Figura 21 é apresentada a evolução do volume de produção mensal a partir de Janeiro de 2002. Nota-se uma melhora significativa a partir do mês de Abril de 2002, data de início da utilização do sistema de otimização descrito neste estudo. Até aquele momento, tinha-se uma média de produção mensal em torno de 13.000 m³, saltando então para um valor de 16.000 m³.

Na Figura 22 é mostrada a média de produção diária deste mesmo período. Observa-se uma evolução nos números, saltando de 720 m³ em média para cerca de 800 m³. Além do melhor planejamento dos volumes a serem produzidos, algumas atitudes extras auxiliaram na obtenção destes resultados, como por exemplo:

- Eliminação de esquemas de corte complexos e pouco eficientes, visando compatibilizar os recursos de maquinário existentes;
- Adoção de intervalos mais longos entre as trocas de serras (diminuição de tempo de *set-up*). Segundo SHINGO (1989), uma das maiores perdas encontradas nos processos produtivos é o tempo de preparo das máquinas. Assim, optou-se por executar a troca de serras e ferramentas de corte nos intervalos de almoço, jantar e durante a noite, quando não existe produção. Para tanto, foi necessário obter fornecedores de qualidade superior, de modo que as serras não sofressem desgaste excessivo em longos períodos de produção;
- Treinamento de mais de um operador em cada máquina, de modo a não se ter perda considerável na produtividade na ausência do operador titular. Para tanto, foi desenvolvida uma planilha de habilidades, conforme mostrado no Anexo 7, e posteriormente um plano de treinamento.

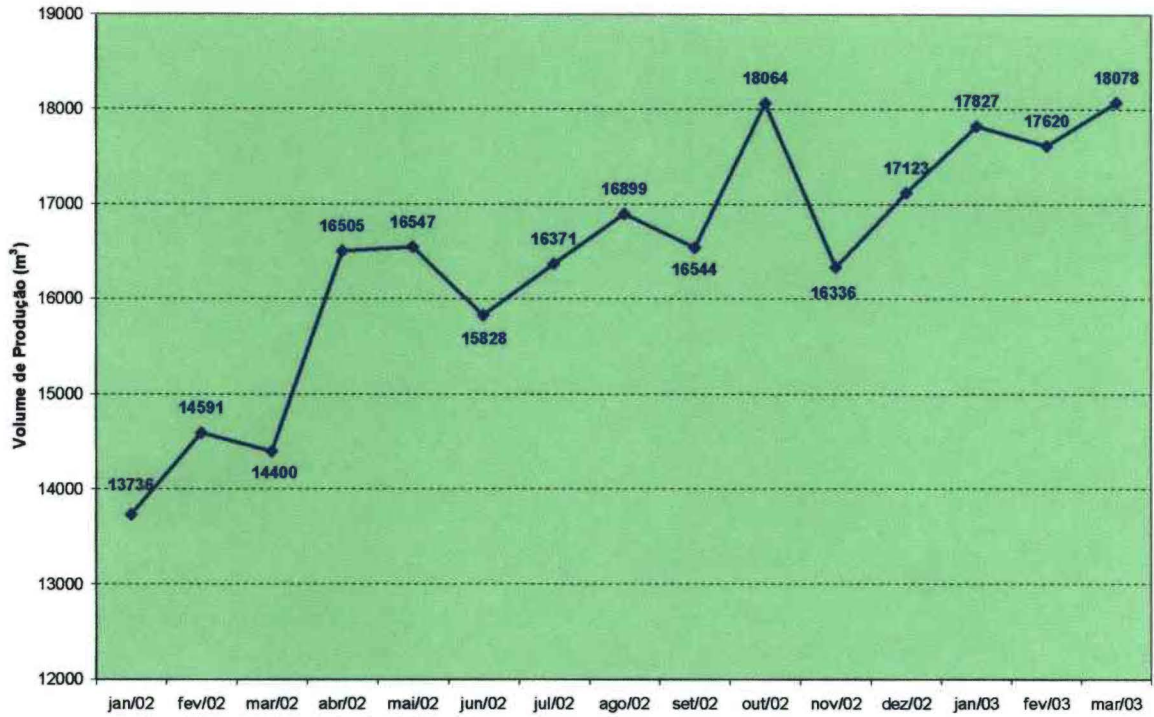


FIGURA 21 – VOLUME DE PRODUÇÃO EM m³. PERÍODO JANEIRO DE 2002 A MARÇO DE 2003

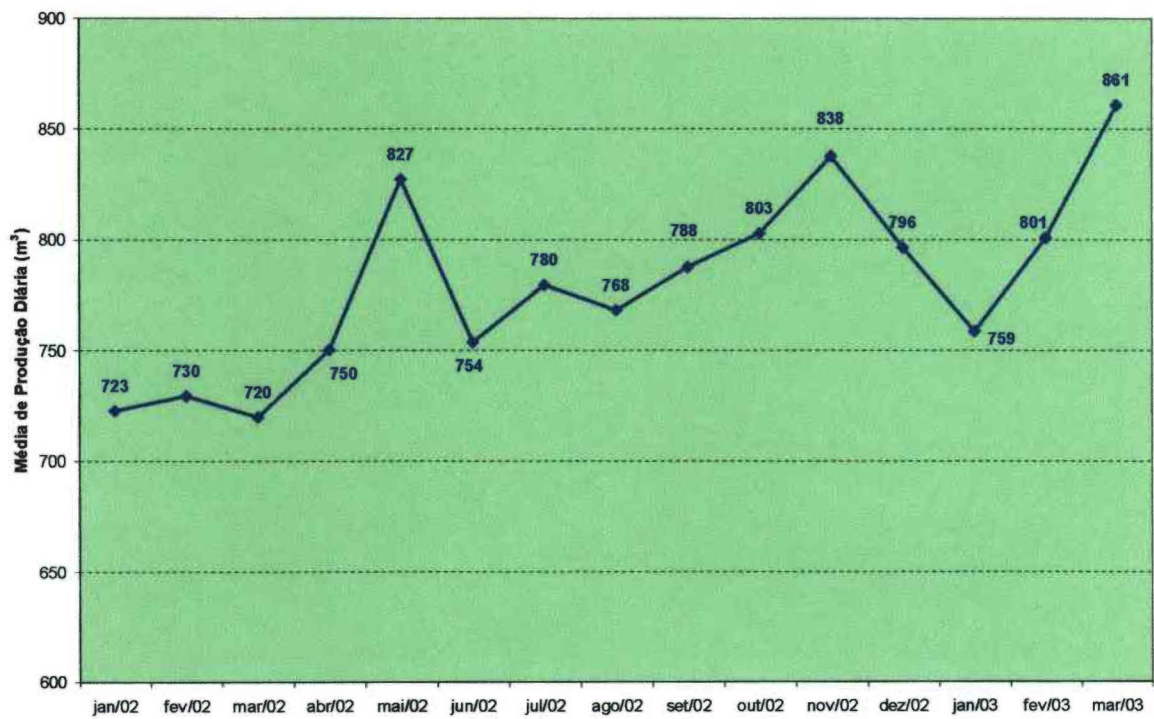


FIGURA 22 – PRODUÇÃO DIÁRIA EM m³. PERÍODO JANEIRO DE 2002 A MARÇO DE 2003

Na Figura 23 tem-se o comportamento do rendimento da serraria para o mesmo período considerado. Observa-se uma tendência de queda desde o início da utilização da otimização de produção. A hipótese mais provável para que isso tenha ocorrido é a queda nos diâmetros médios de produção, conforme ilustrado na Figura 24. Os diâmetros menores são de mais difícil otimização e, portanto, apresentam um pior rendimento.

O acompanhamento diário da produção se dá mediante a utilização de uma planilha de controle conforme ilustrado no Anexo 6. Assim, é possível verificar se o planejamento projetado está atendendo as necessidades de produção. Observa-se que os números se alteram à medida que os esquemas são serrados e as bitolas vão sendo geradas. Entretanto, observa-se também que isso ocorre à medida que as toras com os diâmetros correspondentes são entregues no pátio. Assim, não existe um equilíbrio constante nas quantidades de *rips* produzidos.

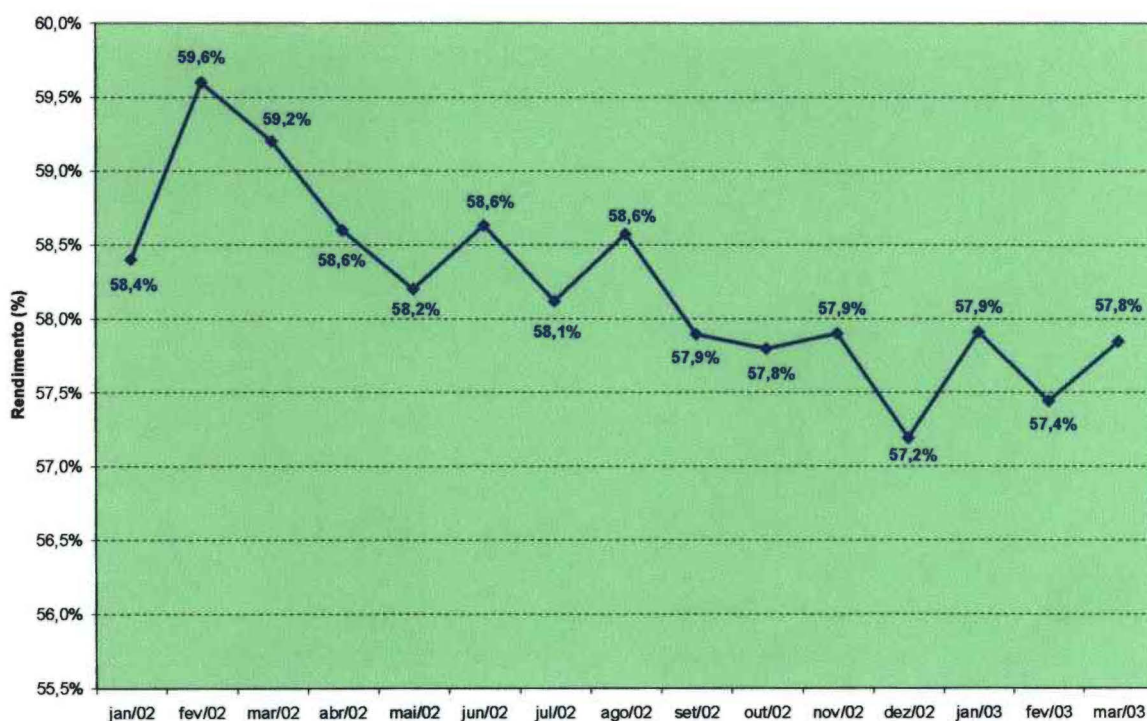


FIGURA 23 – RENDIMENTO DA SERRARIA. PERÍODO JANEIRO DE 2002 A MARÇO DE 2003

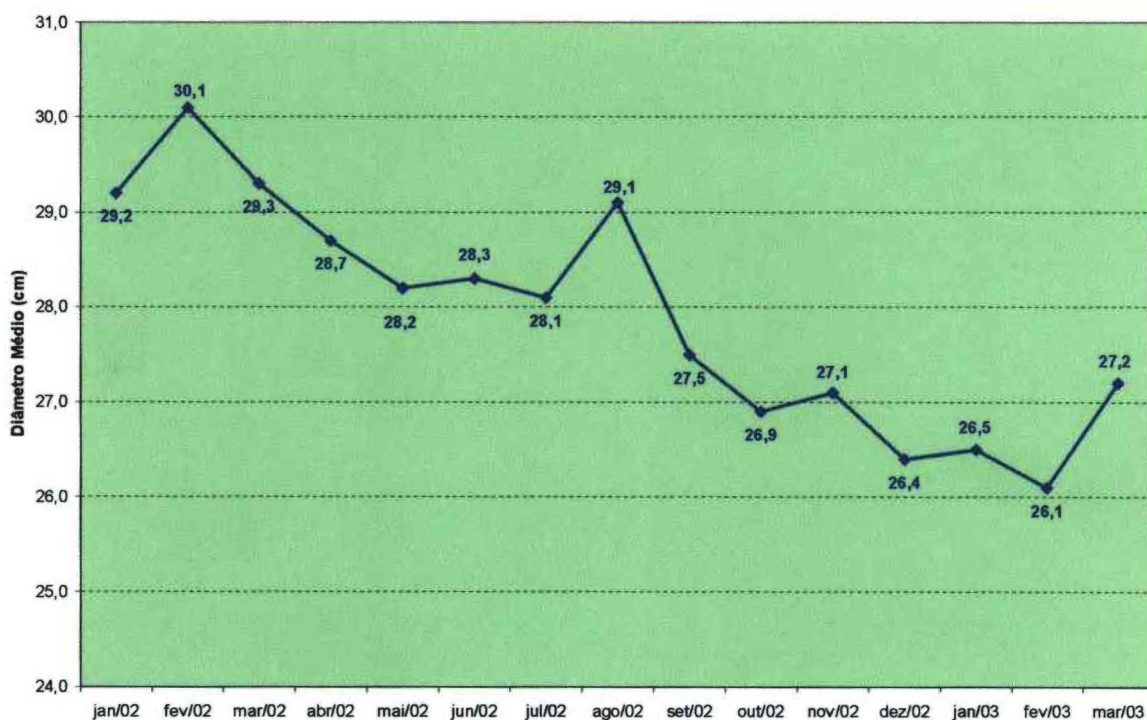


FIGURA 24 – DIÂMETRO MÉDIO DE PRODUÇÃO EM CENTÍMETROS. PERÍODO JANEIRO DE 2002 A MARÇO DE 2003

5.2 VANTAGENS OBSERVADAS NO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO

5.2.1 Facilidade de entendimento

Em grande parte das aplicações, os usuários dos modelos não são necessariamente os mesmos que os desenvolveram. Desta forma, a não ser que a atuação do usuário seja extremamente limitada em relação à interação com o modelo, é desejável que este seja o mais transparente e acessível possível para que o seu entendimento e posterior operação sejam facilitados. Estas são, sem dúvida, características desta interface.

Por utilizar apenas fórmulas padrões das planilhas eletrônicas, permite aos seus usuários um entendimento de sua lógica, sem exigir o conhecimento de nenhuma linguagem de modelagem específica. Além disto, a formulação e montagem das restrições e função objetivo obedece às mesmas regras das planilhas comumente utilizadas nas empresas.

5.2.2 Alta conectividade

A conectividade refere-se à capacidade da interface de estabelecer conexões entre diferentes bases de dados, facilitando a importação e exportação de dados. Em aplicações operacionais como a que foi desenvolvida para a indústria de madeira, os parâmetros do modelo variam com muita frequência e a responsabilidade por sua atualização é feita por setores diferentes da empresa:

- A atualização dos volumes de entrega de toras e, conseqüentemente, da distribuição diamétrica, é realizada pelo setor florestal que freqüentemente monitora e avalia as informações entregues;
- Os índices de rendimento de produção para cada produto são medidos e atualizados pelo setor de planejamento e controle industrial;
- As margens líquidas unitárias de cada binômio produto-mercado são estabelecidas e atualizadas pelo setor comercial, o que altera o pedido de madeira serrada.

Neste caso, é necessário dispor de meios eficientes de importação e exportação de dados. É relevante, portanto, possuir alta conectividade para que a atualização dos parâmetros seja feita de forma rápida e segura.

Nas planilhas utilizadas, a comunicação entre bases de dados se dá com bastante facilidade, seja através de *links* dinâmicos, onde uma planilha faz referência a outra, ou mesmo através da importação de arquivos, já que estas suportam uma extensa gama de formatos de diferentes bases de dados.

5.2.3 Facilidade de customização

A facilidade de customização refere-se à facilidade de alterar e incluir características ao sistema de forma a adequá-lo a necessidades específicas dos usuários.

Um exemplo dessas características, tendo como base o modelo desenvolvido para a indústria de madeira, refere-se à geração automática de relatórios gerenciais ligados às variáveis de decisão do modelo. Desta forma, uma série de medidas de desempenho podem ser obtidas com facilidade, de acordo com interesses específicos.

Além de relatórios, uma série de procedimentos particulares como checagem de inconsistências nos dados de entrada, atualização automática de dados, checagem de capacidade disponível, podem ser implementados a partir dos recursos de macros incluídos nas planilhas eletrônicas.

É preciso observar que não se destaca aqui a exclusividade do ambiente de planilhas na capacidade de desenvolvimento de tais recursos, já que outras interfaces também o permitem, seja através de exportação de dados para sistemas de manuseio de dados mais flexíveis, seja através da utilização de linguagens de programação genéricas. O que se destaca é o baixo custo deste desenvolvimento, já que as ferramentas necessárias estão disponíveis nas próprias planilhas e seu uso é bastante difundido.

5.3 DESVANTAGENS OBSERVADAS NO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO

5.3.1 Dificuldade de alteração da lógica e das dimensões do modelo

A grande deficiência da utilização de interfaces baseadas em planilhas foi percebida logo no início do desenvolvimento do modelo para a indústria de madeira. Inicialmente projetado para considerar a existência de 120 esquemas de corte, teve que ser reformulado para acomodar 240 esquemas, em função de mudanças ocorridas na estrutura da empresa. Isto implicou em reescrever praticamente todo o modelo, requerendo várias horas de trabalho. Da mesma forma, atendendo a mudanças na política de *marketing* da empresa, o problema se repetiu quando foi alterado o *mix* de produtos, sendo necessário retirar alguns e incluir outros.

Este é, portanto, o ponto fraco desta interface. Ao incluir ou excluir um item do modelo, neste caso um esquema ou um produto, alteram-se as referências entre células, sendo necessário reescrever as fórmulas que definem as relações do modelo. Ao se comparar com outras interfaces como, por exemplo, as que utilizam linguagens de modelagem algébricas, em que a mudança de escala do modelo consiste basicamente na mudança da cardinalidade de índices, fica evidente a limitação das planilhas utilizadas pela sua falta de flexibilidade, tanto na mudança da dimensão do modelo, quanto nas mudanças das inter-relações dos elementos do modelo, ou seja, na sua lógica.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho e algumas recomendações para desenvolvimento de trabalhos futuros tendo em vista o conhecimento adquirido ao longo do processo de elaboração e implementação prática deste estudo.

6.1 CONCLUSÕES DO ESTUDO

Os resultados obtidos mediante a solução proposta de otimização do planejamento de produção de uma serraria foram considerados satisfatórios, uma vez que atenderam na prática aos requisitos inicialmente propostos, com a elevação da produtividade e manutenção do nível de rendimento.

A utilização de um recurso como o *Solver*, presente nas planilhas eletrônicas usualmente adotadas pelas empresas, se mostrou economicamente interessante, uma vez que dispensa a aquisição de *softwares* de otimização, cujo valor comercial é elevado. As vantagens observadas estão intrinsecamente relacionadas ao fato das planilhas eletrônicas já serem largamente utilizadas nas empresas. Como consequência, encontra-se uma maior facilidade na implementação de soluções baseadas neste ambiente, justificada principalmente pelo fato de os usuários terem menos dificuldade em utilizá-las.

A grande e praticamente única desvantagem observada refere-se à pouca flexibilidade na alteração da lógica e da dimensão dos modelos desenvolvidos em planilhas. Se esta desvantagem é mais ou menos crítica, podendo ou não contraindicar a sua aplicação, irá depender do tipo e frequência das mudanças que se façam necessárias na estrutura e dimensão do modelo.

O desenvolvimento de interfaces mais amigáveis, como as baseadas em planilhas eletrônicas, sem dúvida representa um impulso no sentido de aumentar a utilização de técnicas de programação matemática, já que estas interfaces minimizam as dificuldades de utilização por não especialistas. No entanto, a sua utilização não contribui no sentido de reduzir a atuação de profissionais especializados na construção de modelos, mas sim no sentido de aumentar a quantidade de profissionais não especializados na operação dos aplicativos.

Algumas melhorias ainda se fazem necessárias ao processo como um todo, uma vez que os rendimentos obtidos após o início das simulações ficaram um pouco abaixo das expectativas. Parte da perda se deve à necessidade de atender pedidos urgentes em curto prazo de tempo, devido às limitações do processo de secagem. Assim, sugere-se que seja desenvolvido um sistema semelhante nesta área, de modo a prever com antecedência os volumes mínimos necessários de cada bitola para se completar as cargas nas câmaras dos secadores, sem prejuízo ao fluxo produtivo.

Outra limitação verificada referem-se às variações na distribuição diamétrica das toras durante o mês de produção, devido principalmente às condições climáticas ou deficiências na infra-estrutura logística de entrega da matéria-prima. Isso acarreta a necessidade de se alterar o planejamento de produção durante o mês, o que pode levar a erros devido à incorreta utilização de alguns esquemas de corte para os diâmetros de abastecimento da serraria.

Finalmente, constantes variações nos pedidos de clientes em termos de volumes e prazos de entrega causam novos direcionamentos de produção, o que desqualifica parte do planejamento executado. Deste modo, deve-se criar a consciência, junto aos vendedores, da necessidade de se manter pedidos firmes e postergar eventuais mudanças.

A madeira, embora seja renovável, é um recurso finito, e requer, para que sua perpetuidade seja garantida, uma administração racional que garanta sua continuidade para as gerações futuras. Este trabalho procurou mostrar que, com o correto planejamento na utilização dos recursos, esta é uma meta perfeitamente atingível e economicamente viável.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesta subseção apresentam-se propostas para desenvolvimento de trabalhos futuros, tendo como base os conhecimentos adquiridos na elaboração deste estudo, a saber:

- desenvolvimento de um sistema que desconsidere os volumes já serrados e execute um novo planejamento a partir da data da mudança. Para tanto é necessário o refinamento dos números de entrega de toras e o ajuste

dos pedidos a uma frequência no mínimo semanal. Com isso ter-se-ia uma margem maior de manobra, uma vez que o planejamento seria executado em um período mais curto;

- execução de um estudo de simulação do processo de serraria, de modo a se verificar mais efetivamente os gargalos produtivos e possibilitar resultados mais precisos com relação aos índices de produtividade.

GLOSSÁRIO

<i>Blank</i>	- Tábua resultante do processo de <i>finger-joint</i> .
<i>Block</i>	- Bloco de madeira.
Cavaco	- Resíduo de moagem ou quebra de madeira.
<i>Clear Block</i>	- Bloco de madeira isento de defeitos.
Cubagem	- Ato de mensurar a quantidade de unidades cúbicas contidas no volume de um corpo.
Desdobro	- Operação de usinagem que divide a tora em tábuas.
<i>Edge Glued Panels</i>	- Painéis de madeira colados lateralmente.
<i>Fencing Stock</i>	- Madeira destinada a confecção de cercas.
<i>Finger-Joint</i>	- Operação de colagem e prensagem de blocos de madeira.
<i>Laminated Veneer Lumber</i>	- Tábua laminada isenta de defeitos.
Macro	- Funcionalidade encontrada em planilhas eletrônicas destinada a automatizar processos repetitivos, mediante programação.
Maravalha	- Resíduo de usinagem ou aplainamento de um material.
<i>Médium Density Fiberboard</i>	- Aglomerado de madeira de média densidade.
<i>Pallets</i>	- Plataforma móvel utilizada para transporte de materiais.
<i>Rips</i>	- Dimensões de tábua para fins de usinagem.
Tabico	- Separador utilizado em madeira em pacotes.
Talhão	- Porção de terreno com qualquer cultura.
Travessa	- Separador utilizado entre pacotes de madeira empilhados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARENS, H. e NIEMEYER, W. H. **Condições das máquinas e ferramentas para a usinagem de alta capacidade**. 8. Colóquio tecnológico da madeira, IWF, TU Braunschweig, 1991.
- ASSMAN, E. **The principles of forest yield study**. New York: Pergamon Press, 1970.
- BALLOU, H. R. e MASTERS, J. M. Commercial software for locating warehouses and other facilities. **Journal of Business Logistics**, v. 14, n. 2, 1993.
- BIASI, C. P. **Avaliação do rendimento em madeira serrada, eficiência e custos em serraria de Pinus spp.** UnC – Universidade do Contestado – Unidade Universitária de Canoinhas – Curso de Engenharia Florestal, Canoinhas - SC: , 1998.
- CHVATAL, V. **Linear programming**, New York: W.H. Freeman and Company, 1983.
- DANTZIG, G. B. e THAPA, M.K. **Linear programming 1: Introduction**, New York: Springer-Verlag, 1997.
- FOURER, R. **Software survey: linear programming**. OR/MS Today - On Line Edition, v. 24, n. 1, February, 1997. Disponível em: <<http://lionhrtpub.com/orms/orms-2-97/Linear-Programming.html>> Acesso em: 26 abril 2003.
- GIRÃO e ELLENRIEDER. **Programação Linear**. 1. ed., Rio de Janeiro: Almeida Neves Editores, 1971.
- GRINGEL, M. **Tendências tecnológicas na modernização da produção**. Jornadas de tecnologias da madeira. FH Rosenheim, 1999.
- HESELBACH, J. e SCNETTKER, T. A. **Sistemas de máquinas para a usinagem da madeira no futuro**. Revista Holz, 2/2001.

HILLIER, F.S. e LIEBERMAN, G.J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1988.

NAHUZ, M. A. R. **Uso Racional de Produtos Florestais: Tendências e Perspectivas**, São Paulo, 2001.

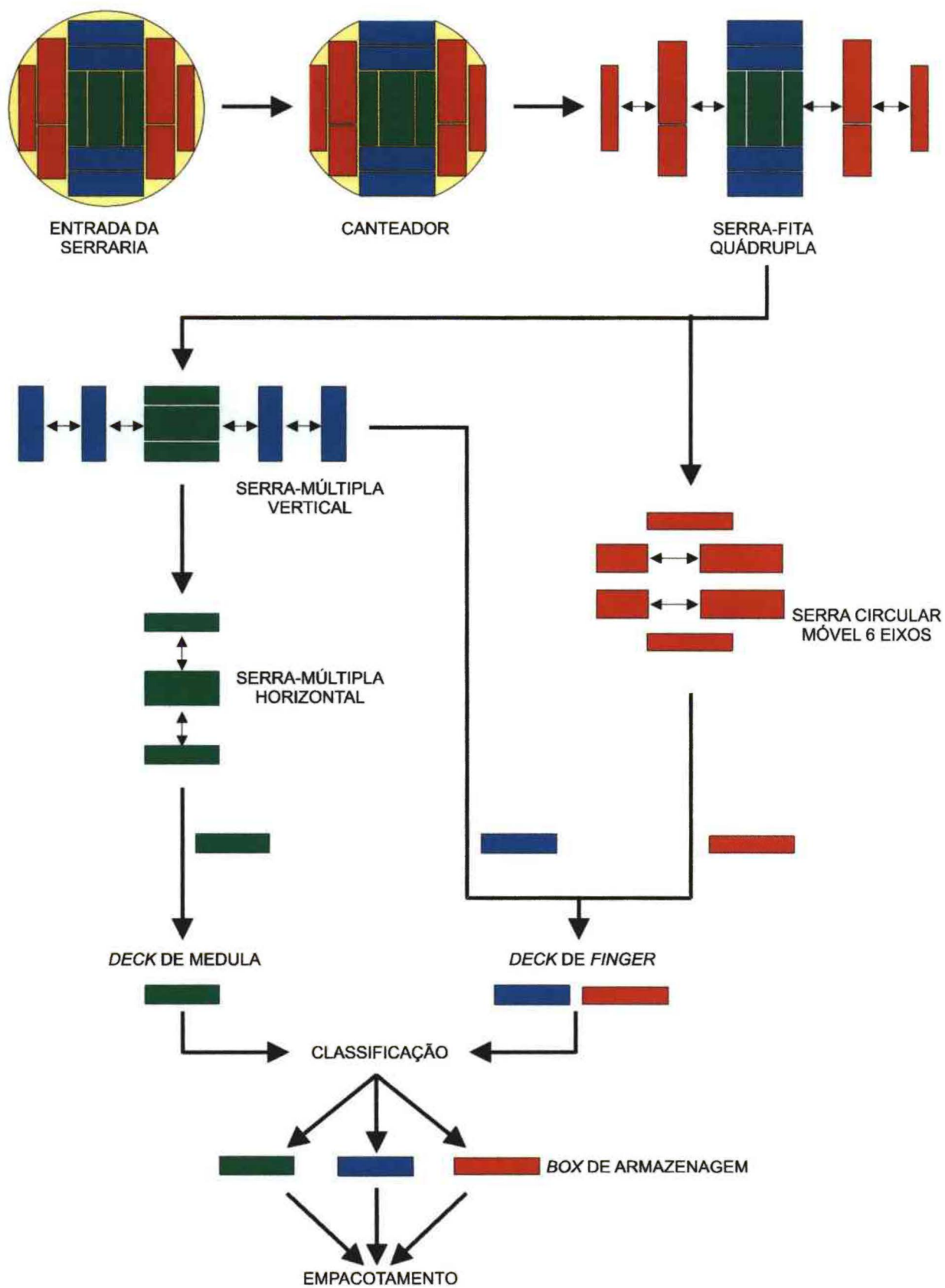
PIDD, M. **Modelagem Empresarial: Ferramentas para Tomada de Decisão**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

ROCHA, M. P. **Desdobro Primário de Madeira**. Fupef – Série Didática Nº 2/99. Curitiba, 1999.

SCHRIJVER, A. **Theory of Linear and Integer Programming**. Chichester: John Wiley & Sons, 1986.

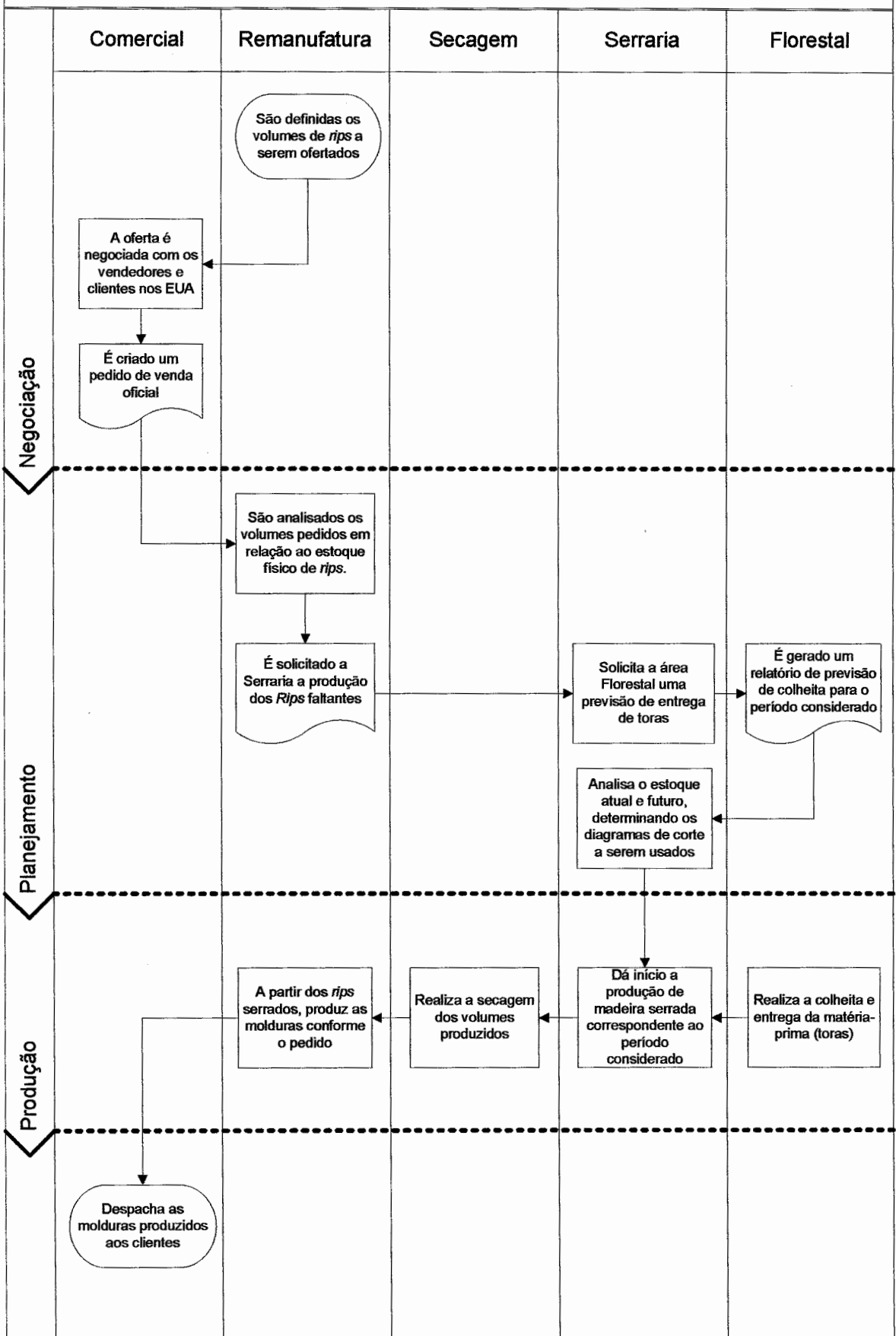
SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. 2 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 1996.

Anexo 1 - Fluxo da Tora pelo Processo de Serraria



Anexo 2 - Processo de Oferta e Produção de *Rips*

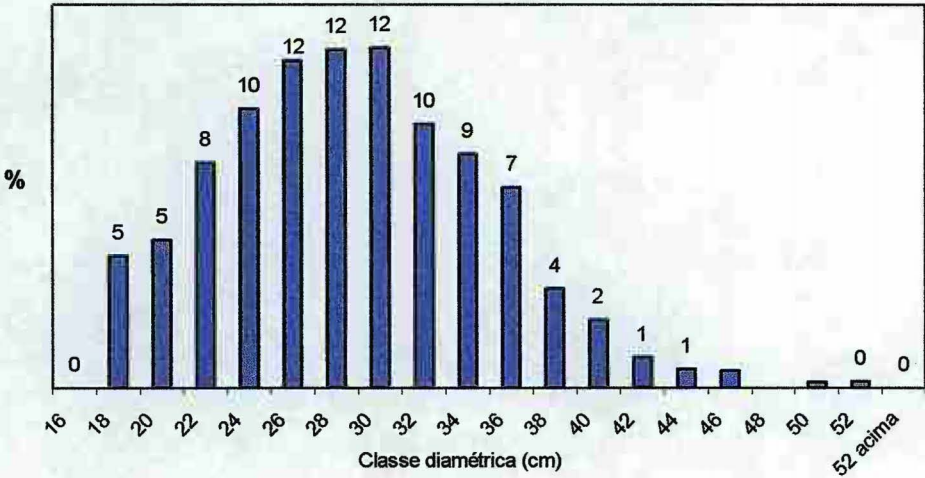
Processo de Oferta e Produção de *Rips*



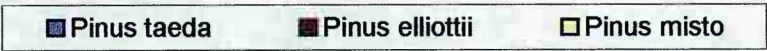
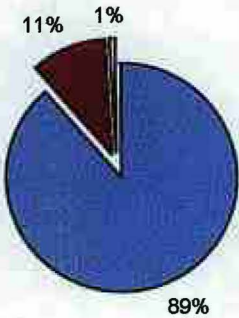
Anexo 3 - Exemplo de Relatório de Inventário Florestal

Classe diamétrica (cm)	Volume		D médio das toras (cm)
	m3	%	
16	-	-	
18	1.598,70	4,83	
20	1.793,97	5,42	
22	2.729,09	8,24	
24	3.383,00	10,21	
26	3.959,49	11,95	
28	4.093,30	12,36	
30	4.120,41	12,44	
32	3.193,53	9,64	
34	2.834,74	8,56	
36	2.430,68	7,34	
38	1.201,24	3,63	
40	821,39	2,48	
42	369,95	1,12	
44	229,77	0,69	
46	209,32	0,63	
48	-	-	
50	72,99	0,22	
52	79,04	0,24	
52 acima	-	-	
	33.121	100	28,8

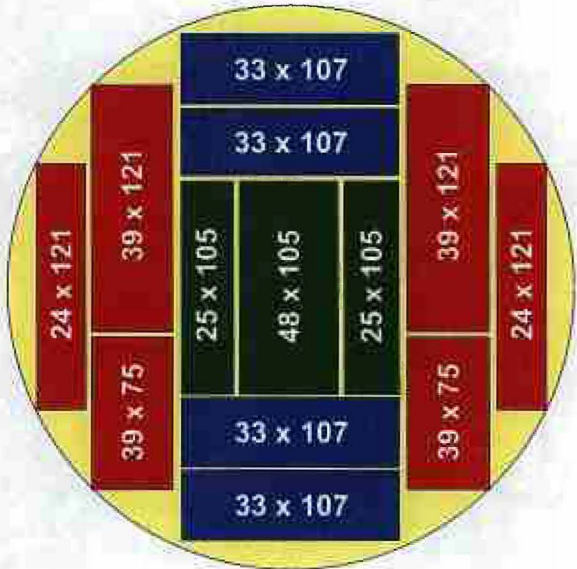
Previsão de abastecimento MARÇO_2.002



Espécie	Area (ha)	%
Pinus tae	58,8	89%
Pinus elli	7	11%
Pinus mis	0,6	1%
	66,4	100%



**Anexo 4 - Exemplo de Cálculo de Rendimento Teórico
de um Diagrama de Corte**



PEÇAS (F = FINGER, M = MEDULA, P = PAINEL)

ESP.	LARG.	QTDE.	VOLUME (m³)	QUALIDADE
24	121	2	0,0232	P
39	75	2	0,0234	F
39	121	2	0,0378	F
25	105	2	0,0210	M
48	105	1	0,0202	M
33	107	4	0,0565	F

CLASSE DIAMÉTRICA	28 cm
COMPRIMENTO	4,00 m
VOLUME TORA JAS	0,3136 m³
VOLUME DE MADEIRA	0,1820 m³
VOLUME DE FINGER	0,1176 m³
VOLUME DE MEDULA	0,0412 m³
VOLUME DE PAINEL	0,0232 m³
% DE FINGER	64,6 %
% DE MEDULA	22,6 %
% DE PAINEL	12,8 %
RENDIMENTO TEÓRICO	58,0 %

**Anexo 5 - Exemplo de Planilha de Otimização de
Produção**

PROJEÇÃO DE PRODUÇÃO - 04/03 a 17/03

Volume Total **2.181**
 Comprimento das Toras **4,00** m

Classe Diam. (cm)	%	Volume Toras (m³)	Nº de Toras Total	Diagrama	Bitolas						Quali- dade	Total de Peças	Volume Peças (m³)	% Vol. Bitola/ Classe	Volume Total Pcs (m³)	Rendimento (%)
					(Peso)	Nº de Toras	Esp. (mm)	Larg. (mm)	Comp. (m)	Qtd.						
24	45,0%	982	4282	24001	10%	426	42	105	4,00	2	M	852	15,0	30,1%	49,9	50,9%
							39	105	4,00	1	F	426	7,0	14,0%		
							39	135	4,00	2	F	852	18,0	35,9%		
							39	75	4,00	2	F	852	10,0	20,0%		
				24002	15%	639	42	105	4,00	2	M	1.279	22,6	30,1%	74,9	50,9%
							39	105	4,00	1	F	639	10,5	14,0%		
							39	135	4,00	2	F	1.279	26,9	35,9%		
							39	75	4,00	2	F	1.279	15,0	20,0%		
				24003	15%	639	24	135	4,00	1	P	639	8,3	10,7%	77,1	52,3%
							39	135	4,00	4	F	2.557	53,9	69,9%		
							39	75	4,00	2	F	1.279	15,0	19,4%		
				24004	20%	852	47	121	4,00	1	M	852	19,4	15,7%	123,6	63,0%
							39	121	4,00	4	F	3.409	64,4	52,1%		
							39	150	4,00	2	F	1.705	39,9	32,3%		
				24005	15%	639	42	206	4,00	2	M	1.279	44,2	59,7%	74,2	50,4%
							39	75	4,00	4	P	2.557	29,9	40,3%		
				24006	15%	639	39	95	4,00	4	F	2.557	37,9	50,9%	74,5	50,6%
							39	95	4,00	1	M	639	9,5	12,7%		
							39	68	4,00	4	F	2.557	27,1	36,4%		
				24007	10%	426	39	105	4,00	2	F	852	14,0	27,2%	51,4	52,3%
							42	105	4,00	1	M	426	7,5	14,6%		
							39	130	4,00	2	F	852	17,3	33,6%		
							39	95	4,00	2	F	852	12,6	24,6%		
					100%	4282							525,6	53,5%		
26	55,0%	1199	4434	26001	10%	443	42	105	4,00	2	M	887	15,6	26,0%	60,3	50,3%
							39	105	4,00	1	F	443	7,3	12,1%		
							39	135	4,00	4	F	1.774	37,4	62,0%		
				26002	15%	665	42	105	4,00	2	M	1.330	23,5	26,0%	90,4	50,3%
							39	105	4,00	1	F	665	10,9	12,1%		
							39	135	4,00	4	F	2.660	56,0	62,0%		
				26003	5%	222	52	135	4,00	1	M	222	6,2	18,2%	34,2	57,1%
							39	135	4,00	6	F	1.330	28,0	81,8%		
				26004	10%	443	24	82	4,00	1	P	443	3,5	5,3%	66,1	55,1%
							47	82	4,00	4	F	1.774	27,3	41,4%		
							24	105	4,00	2	P	887	8,9	13,5%		
							39	95	4,00	4	F	1.774	26,3	39,8%		
				26005	25%	1109	47	121	4,00	1	M	1.109	25,2	16,2%	155,6	51,9%
							39	121	4,00	4	F	4.434	83,7	53,8%		
							39	135	4,00	2	F	2.217	46,7	30,0%		
				26006	10%	443	39	75	4,00	10	F	4.434	51,9	79,8%	65,0	54,2%
39	95	4,00	2				F	887	13,1	20,2%						
26008	25%	1109	42	105	4,00	1	M	1.109	19,6	57,1%	147,5	49,2%				
			39	105	4,00	2	F	2.217	36,3	106,1%						
			39	130	4,00	2	F	2.217	45,0	131,3%						
			39	135	4,00	2	F	2.217	46,7	136,4%						
					100%	4434							616,1	61,6%		
Total	100,0%	2181	8696	Qtde. Diagramas	14	17392						65.501	1.144,7		1.144,7	52,5%

Distribuição Ideal da Madeira para Rips - 04/03 a 17/03

Volume	6500	m³												TOTAL	
Espessura	33		39												
Largura	107	142	68	75	79	82	95	105	121	130	135	150			
%	11,3%	-	3,2%	9,6%	-	-	11,3%	2,3%	13,6%	-	48,6%	-		85,4%	
N° de Peças	208.847	-	79.448	212.498	-	-	199.039	36.017	187.524	-	600.276	-		1.235.354	
Volume	737	-	211	622	-	-	737	147	885	-	3.160	-		5762,66	
Total	737,44		5762,66												
PRODUÇÃO PROJETADA															
Produção	-	-	-	-	-	-	126	212	-	-	374	-		712,09	
%	-	-	-	-	-	-	17,7%	29,8%	-	-	52,5%	-		100,0%	
Total	0,00		712,09												
NECESSIDADE REMANUFATURA															
Volume	700	-	200	590	-	-	700	140	840	-	3.000	-		6.170	
%	11,3%	-	3,2%	9,6%	-	-	11,3%	2,3%	13,6%	-	48,6%	-		100%	

**Anexo 6 - Exemplo de Planilha de Acompanhamento de
Produção**

Acompanhamento da Produção - 04/03 a 17/03

Total de Dias 11
Dias Prod. 11,0
Dias Falta 0

Atualizado até dia 17/3/2003

Turno 2

	Bitola Real		Demanda de Produção		Executado até a data				Projetado até data		Falta / Excesso	F/E para Total	Necessidade Diária
	Esp.	Larg.	Nº de Peças	Volume	Interno (m³)	Externo (m³)	Total (m³)	(%)	(m³)	(%)			
	17	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	17	105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	17	135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	17	156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	105	-	-	11,86	-	11,86	-	-	-	11,86	11,86	-
	20	156	-	-	50,36	-	50,36	-	-	-	50,36	50,36	-
	23	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23	105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	105	-	-	22,08	-	22,08	-	-	-	22,08	22,08	-
	25	156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	37	95	4.979	70,0	72,61	-	72,61	103,7%	70,00	100,0%	2,61	2,61	-
	37	105	15.122	235,0	402,47	-	402,47	171,3%	235,00	100,0%	167,47	167,47	-
	37	135	4.505	90,0	44,06	-	44,06	49,0%	90,00	100,0%	(45,94)	(45,94)	(45,94)
	37	156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	39	95	13.833	205,0	-	173,08	173,08	84,4%	205,00	100,0%	(31,92)	(31,92)	(31,92)
	39	105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	39	121	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	39	135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	39	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	42	105	8.220	145,0	208,26	-	208,26	143,6%	145,00	100,0%	63,26	63,26	-
	42	121	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	42	135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	42	156	11.065	290,0	238,17	-	238,17	82,1%	290,00	100,0%	(51,83)	(51,83)	(51,83)
	48	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	48	105	2.232	45,0	75,04	-	75,04	166,7%	45,00	100,0%	30,04	30,04	-
	52	135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	53	105	-	-	271,88	-	271,88	-	-	-	271,88	271,88	-
	53	156	1.814	60,0	26,69	-	26,69	44,5%	60,00	100,0%	(33,31)	(33,31)	(33,31)
	Total Modula		61.770	1.140,0	1.339,18	173,08	1.512,25	132,7%	1.140,00	100,0%	(163,01)	(163,01)	-
	24	82	6.352	50,0	69,58	-	69,58	139,2%	50,00	100,0%	19,58	19,58	-
	24	96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24	105	4.960	50,0	70,34	-	70,34	140,7%	50,00	100,0%	20,34	20,34	-
	24	123	4.234	50,0	49,61	-	49,61	98,2%	50,00	100,0%	(0,39)	(0,39)	(0,39)
	24	135	7.716	100,0	113,56	-	113,56	113,6%	100,00	100,0%	13,56	13,56	-
	Total Painel		23.262	250,0	303,09	-	303,09	121,2%	250,00	100,0%	(0,39)	(0,39)	-
	T	20	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total		85.032	1.390,0	1.642,27	173,08	1.815,35	130,6%	1.390,00	100,0%	(163,39)	(163,39)	-
	33	107	52.212	737,4	732,02	-	732,02	99,3%	737,44	100,0%	(5,42)	(5,42)	(5,42)
	33	142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total 33		52.212	737,4	732,02	-	732,02	99,3%	737,44	100,0%	(5,42)	(5,42)	(5,42)
	39	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	39	68	19.862	210,7	159,11	59,99	219,10	104,0%	210,70	100,0%	8,40	8,40	-
	39	75	53.124	621,6	642,96	-	642,96	103,4%	621,56	100,0%	21,40	21,40	-
	39	79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	39	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	39	96	49.241	737,4	622,95	105,78	728,73	98,8%	737,44	100,0%	(8,71)	(8,71)	(8,71)
	39	105	9.004	147,5	126,32	51,33	179,65	121,6%	147,49	100,0%	32,16	32,16	-
	39	123	46.119	884,9	842,56	39,54	882,10	99,7%	884,93	100,0%	(2,82)	(2,82)	(2,82)
	39	130	-	-	22,94	-	22,94	-	-	-	22,94	22,94	-
	39	135	150.069	3.160,5	2.471,72	222,32	2.694,03	85,2%	3.160,45	100,0%	(466,42)	(466,42)	(466,42)
	39	150	-	-	210,83	-	210,83	-	-	-	210,83	210,83	-
	Total 39		327.420	5.762,6	5.101,39	478,95	5.580,34	96,8%	5.762,56	100,0%	(477,95)	(477,95)	-
	Total Rip		379.632	6.500	5.833	479	6.312	97,1%	6.500,00	100,0%	(483,37)	(483,37)	(483,37)
	Total Geral		484.664	7.890	7.475,68	652,03	8.127,71	103,0%	7.890,00	100,0%	(646,76)	(646,76)	(646,76)

Legenda:

XXXXX Produção abaixo do ritmo desejado (< 90% do projetado)
XXXXX Produção dentro do ritmo desejado
XXXXX Produção acima do ritmo desejado (> 110% do projetado)

Anexo 7 - Matríz de Habilidades de Operação

MATRIZ DE HABILIDADES OPERADORES SERRARIA		FUNÇÃO	AUXILIAR CHIPPER	AUXILIAR EDGER	AUXILIAR STACKER	AUXILIAR TRIMMER	CHIPPER	QUÁDRUPLA	EDGER	BNK - HTK	TRIMMER	STACKER	INSPETOR QUALIDADE
NOME	TURNO												
Jairo Trindade de Góis	1												
Marquiano Okopny	1												
Renato Antônio dos Santos	1												
Liger Bail	1												
Rogério Biabok	1												
Anderson Lima	1												
Edson Rodrigues	1												
Ronaldo Zampiva	1												
Marcelo Wischral	1												
José Francisco	1												
Boles Iendras	1												
Leandro Liebl	1												
Guilherme Silva	1												
Antonio Carlos	1												
Elcio Carvalho	2												
Jairson Roque dos Santos	2												
Amauri Arthur	2												
Marcelo Vieira	2												
Getúlio Selico dos Santos	2												
Juarez da Silva	2												
Jonas Valério	2												
Alecsandro Rauhen	2												
Fábio J. da Silva	2												
Luciano G. Tureck	2												
Ivan M. Pires	2												
Nilson Godoy	2												
Edison Espoleti	2												
Gilmar dos Santos	2												
Everton J. Machado	2												

FUNÇÃO TITULAR

FUNÇÃO RESERVA

EM TREINAMENTO